DIE RIGI-SCHÜTTUNG

Sedimentpetrographie, Sedimentologie, Paläogeographie, Tektonik

INAUGURAL-DISSERTATION

zur
Erlangung der philosophischen Doktorwürde
vorgelegt der
Philosophischen Fakultät II
der

UNIVERSITÄT ZÜRICH

von
Bruno Stürm
von Goldach SG

Begutachtet von
Prof. Dr. R. Hantke
Prof. Dr. R. Trümpy

Zürich 1973

DIE RIGI-SCHUETTUNG —— SEDIMENTPETROGRAPHIE, SEDIMENTOLOGIE, PALAEOGEOGRAPHIE, TEKTONIK.

I N A U G U R A L - D I S S E R T A T I O N

Zur
Erlangung der philosophischen Doktorwürde
vorgelegt der
Philosophischen Fakultät II
der

UNIVERSITAET ZUERICH

von

Bruno Stürm
von Goldach SG

Begutachtet von

Prof.Dr.R.Hantke
Prof.Dr.R.Trümpy

Zürich 1973

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41507210_0054

VERZEICHNIS DER ABKUERZUNGEN

UMM	Untere Meeresmolasse
USM	Untere Süsswassermolasse
RHA	Rigi-Hauptaufschiebung
RBS	Rigi-Basisschuppe
RHS	Rigi-Hauptschuppe
TSZ	Teuffibach-Schuppenzone
NF	Nagelfluh
LM	Leichtmineral
SM	Schwermineral

(Abkürzungen der einzelnen LM und SM sh.Kap.4.2.1.)

LMG	Leichtmineral-Gehalt
SMG	Schwermineral-Gehalt
KG	Ca-und Mg-Karbonat-Gehalt
Niv:100m	100m über USM-Basis

V O R W O R T

Die vorliegende Dissertation ist aus einer an der Universität Zürich 1969 abgeschlossenen Diplomarbeit hervorgegangen. Sie ist Teil einer geröll- und sedimentpetrographischen Untersuchungscampagne in der Subalpinen Molasse zwischen Wäggital und Vierwaldstättersee.

Zum Abschluss der Dissertation danke ich allen, die zum Gelingen beigetragen haben:

Meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof.Dr.R.HANTKE für die Terrainbesuche und die stetige Diskussionsbereitschaft.

Herrn Prof.Dr.R.TRUEMPY für die wertvollen Anregungen

Herrn Dr.H.P.MUELLER für die Begutachtung schwer bestimmbarer NF-Gerölle.

Herrn Dr.F.HOFMANN, der mich in die sedimentpetrographische Arbeitsweise einführte.

Herrn dipl.geol.G.SCHAER für die geochemische Beratung und Mitarbeit bei den Spurenelement-Analysen.

Herrn Dr.H.THIERSTEIN für die Bestimmung des Nannoplanktons.

Herrn Dr.WYTTENBACH für die Spurenelement-Kontroll-Analysen.

Herrn Dr.J.P.BECKMANN, der den Mikrofossilinhalt einiger Gerölldünnschliffe begutachtete.

Herrn dipl.geol.CH.GRUENINGER für seine kritische Würdigung meiner lithostratigraphischen Befunde an der Rigi-Basis.

Den Gebietsnachbarn dipl.geol.A.RISSI und S.SCHLANKE, mit denen mich gemeinsame Feldtage und äusserst wertvolle Diskussionen verbinden.

Herrn E.SCHAERLI für die Anfertigung der Dünnschliffe.

Frl.DEUBELBEISS für die Pollenpräparation.

Meinem ehemaligen Terrainassistenten H.RUETTIMANN, der mich bei der Probenentnahme unterstützte.

Meinem Bruder F.STUERM für die Assistenz bei den Profilaufnahmen und für die Sekretariatsarbeit.

1. TOPOGRAPHISCH-TEKTONISCHE UEBERSICHT

Rigi Kulm (1798 m), Rotstock (1659 m), Dossen (1685 m) und Rigi-Scheidegg (1662 m) sind die markantesten Erhebungen des Untersuchungsgebietes. Die N- und NW- Grenze fällt mit der Rigi-Hauptaufschiebung zusammen. Diese ist zwischen Ober Immensee und Küssnacht durch mächtige Quartärablagerungen verdeckt und verläuft SW Küssnacht durch den Küssnachtersee. Die SW-Grenze des Untersuchungsgebietes wird durch den Vierwaldstättersee gebildet. Die S- und SE-Grenze folgt der Ueberschiebung des subalpinen Flysches und des Helvetikums und verläuft von Vitznau über die Fälmisegg ins Teuffibachtobel und diesem entlang über den Gätterlipass ins Tobel des Teuberts Baches. Die NE-Grenze folgt der Linie Goldau-Zugersee (Vgl.Fig.1 und Blatt 1151:Rigi).

Am Aufbau des Gebietes sind folgende tektonischen Hauptelemente beteiligt:

- Teuffibach-Schuppenzone (USM)
- Rigi-Hauptschuppe (UMM und USM)
- Rigi-Basisschuppe (USM)

Fig.1 Geographische und tektonische Uebersicht



2. E I N L E I T U N G

2.1. ARBEITSZIEL

Hauptziel der Untersuchungen war eine sedimentpetrographische Gliederung des zentralen Rigi-Schuttfächers, sowie die Charakterisierung seiner tektonischen Einheiten. Für künftige geologische Arbeiten im Bereich der Rigi-Schüttung sollte eine möglichst solide Korrelationsbasis geschaffen und die wichtigsten Unterscheidungskriterien zu den benachbarten, gleichaltrigen USM-Schüttungen herausgestellt werden. Daneben galt es bestehende geologische Grundlagen der Molasse-Forschung für alpintektonische Arbeiten auszubauen und das bisherige Bild der Sedimentationsentwicklung im zentralen Rigi-Schuttfächer weiter zu differenzieren.

2.2. BISHERIGE UNTERSUCHUNGEN

Die ersten brauchbaren geologischen Informationen über die Rigi-Nagelfluh lieferte H.B.DE SAUSSURE (1796). Er erkannte in der Rigi-NF Gerölle einer älteren Nagelfluh und glaubte, dass das Muttergestein der so verbreiteten roten Granite und Porphyre im Schwarzwald-Vogesen Massiv zu suchen sei.

A.ESCHER VON DER LINTH (1847) erkannte als erster die Ueberlagerung des Molassegebirges durch die Kalksteinformation. Ihm waren auch Pflanzen aus den Weggiser Schichten bekannt.

B.STUDER (1825,1853) postulierte ein rotgranitisches Vorgebirge an der Südküste des Molassemeeres, das starken marinen Abtrag erfuhr, vom eigenen Schutt weitgehend verhüllt, dann tektonisch versank und durch Ueberschiebung völlig zugedeckt wurde. Im "Vindelizi-

schen Gebirge" lebte der Gedanke Studers immer wieder auf. (A.BALTZER 1892,C.W.GUEMBEL 1904,W.SCHMIDLE 1912,K.C.BERZ 1915,H.HARTMANN 1938).Von Studer stammt folgende Dreigliederung des Rigiprofils:

- Kristallin-führende, bunte Nagelfluh (oben)
- Kalknagelfluh (Weggiser Schichten)
- Rötliche Schiefermergel (Horwer Schichten)

F.J.KAUFMANN (1860) gliederte die Rigi-NF in:

- (Scheidegg) Kalknagelfluh (oben)
- Bunte Nagelfluh
- (Weggiser)Kalknagelfluh (oben)

Er beschreibt erstmals einige bezeichnende Gerölltypen (1860 :70ff, 1872:342ff, 1886:584ff).

L.RUETIMEYER (1877) entwickelte unter Einbezug der Erkenntnisse von F.J.Kaufmann eine"Geomorphologie" des Rigi-Gebietes.

J.J.FRUEH (1888,1890) untersuchte im Rahmen einer Preisarbeit die Zusammensetzung der Rigi-NF (1888:59-66) und zog erstmals südalpine Abstammung der NF-Gerölle in Erwägung.Durch die Theorie vom Deckenbau der Alpen,die um die Jahrhundertwende weitgehend Anerkennung gefunden hatte, eröffneten sich für die Beheimatung der NF-Gerölle ganz neue Perspektiven.

C.ESCHER-HESS (1907) stellte erstmals quantitativ-petrographische Geröllunteruchungen in der Rigi-NF an (1907:9).

E.BAUMBERGER (1914) versuchte die lithologischen Einheiten der Rigi-NF stratigraphisch einzuordnen.Er vermutete in der Unteren Kalk-NF das Obere Burdigalien.Die Bunte NF stellte er ins Untere Vindobonien (Helvetien), die Kalknagelfluhen der Scheidegg ins Obere Vindobonien (Tortonien).Dies dürfte unter dem Ein-

fluss der von L.ROLLIER (1911) vertretenen Alterszuteilung der subalpinen Molasse erfolgt sein.

1929 gelang es E.Baumberger für das Niveau der Bunten NF anhand einer Molluskenfauna aus der Abrissnische des Goldauer Bergsturzes stampisches Alter nachzuweisen.Gestützt darauf gelangte er zu einer Neuinterpretation des Rigiprofils.Damit kehrte er im Prinzip wieder zur Auffassung F.J.Kaufmanns (1860) zurück.

H.H.RENZ (1937) fasste die bisherigen Erkenntnisse über die Rigi-Rossberg-NF zusammen und stellte auf Rigi Kulm selbst quantitative Gerölluntersuchungen an (1937b:119).

1943 wiesen J.KOPP und A.BUXTORF an der Rigi-Basis Grisiger Mergel nach.

J.SPECK (1953) nahm als erster vollständig das Geröllinventar der Rigi-Schüttung auf. Es gelang ihm zahlreiche der untersuchten Gerölle ins alpine Rückland heimzuweisen.Zugleich versuchte er den Bewegungsablauf des alpinen Orogens anhand der Geröllanalysen in groben Zügen zu rekonstruieren.

J.KOPP erstellte vom Rigi-Gebiet eine bisher unveröffentlichte geologische Karte im Massstab 1:5000.

3. GEROELLPETROGRAPHIE

3.1. LEITGEROELLE

Ziel dieser Untersuchung ist es anhand der vertikalen und horizontalen Entwicklung des Leitgeröllbestandes im zentralen Rigi-Schuttfächer eine Grundlage für die lithostratigraphische Gliederung der NF-Komplexe und für paläotektonische Arbeiten im alpinen Bereich zu schaffen.

Aus den in der Rigi-Schüttung vorhandenen Geröllarten (Vgl.Tab.1) wurden 4 Gruppen ausgewählt, die folgenden Anforderungen genügen:

1. Die Gerölle müssen möglichst gesicherte Repräsentanten verschiedener tektonischer Einheiten des alpinen Rücklandes darstellen.
2. Die Gerölle sollten statistisch erfassbar, d.h.in genügend grossen Mengen in den Nagelfluhen auftreten.
3. Die Gerölle müssen im Feld makroskopisch eindeutig und leicht bestimmt werden können.

Gestützt auf die Heimweisungsversuche von J.SPECK (1953:68ff), R.TRUEMPY & A.BERSIER (1954:129ff) und H.P.MUELLER (1971:50ff) wurden aus dem Geröllbestand des zentralen Rigi-Schuttfächers folgende Leitgeröllarten ermittelt:

1. Kristallin

Es handelt sich um die Gruppe der roten Rigi-Granite + Gefolgschaft an Gang- und metamorphen Gesteinen.

Schliff V 6/5 (Roter Granit)

Struktur: Holokristallin mittelkörnig

Hauptgemengteile:
- Kalifeldspat (Rötlich, z.T.perthitisch entmischt)
- Quarz (Häufig randlich resorbiert)

Nebengemengteile:
- Plagioklas (Albit bis Oligoklas, meist idiomorph,

polysynthetisch verzwillingt)
- Biotit(z.T.chloritisiert)

Akzessorien:

Zirkon, Erz

Herkunft:

Nach den neuesten Untersuchungen von MUELLER (1971:53) haben bisher alle Beheimatungsversuche der roten Rigi-Granite keine eindeutige Lösung gebracht. SPECK (1953:73) bezieht diese Gesteinsgruppe aus einem Kristallinkern der Simmen-Decke s.l.. Sowohl SPECK (1953) als auch TRUEMPY & BERSIER (1954) wiesen auf Analogien dieser Granite zu den Baveno-Graniten der Südalpen hin.

2. Radiolarit

Für die Leitgerölluntersuchungen muss die heterogene Gruppe der Hornsteine auf die eindeutig erkennbaren roten und grünen Radiolarite und Radiolaritbrekzien reduziert werden.

Schliff V 6/15 (Roter Radiolarit)

Die Grundmasse besteht aus einem mikrokristallinen Quarzaggregat, das durch ferritisches Pigment rot gefärbt ist. Darin schwimmen rekristallisierte Radiolaritskelette. Die Hohlräume sind meist mit Chalzedon gefüllt.

Herkunft:

SPECK (1953:92ff) bezieht die Radiolarite aufgrund lithofazieller Analogien aus dem Malm der Simmen-Decke. U.GASSER (1968:277) fasste den Herkunftsbereich weiter (Ostalpine Decken). Nach MUELLER (1971:64,65) kommt die Simmen-Decke s.str. als Lieferantin der Radiolaritgerölle aufgrund des divergierenden Spurenelement-Gehalts nicht in Frage (Vgl.H.R.GRUNAU & T.HUEGI,1957:347ff).

Eigene Spurenelement-Analysen bestätigten diesen Befund (Vgl.Kap.3.4.,Tab.7).Der hohe Cr-Gehalt der Rigi-Radiolarite von durchschnittlich

85 ppm weist auf einen Ophiolith-reichen Ablagerungsraum. Allerdings konnten in der Rigi-NF bisher keine Ophiolithgerölle festgestellt werden.

3. Mocausa-Konglomerat

Eingehende Beschreibungen der Konglomerate vom Typ "Mocausa" finden sich bei SPECK (1953:104ff), TRUEMPY & BERSIER (1954:132), GASSER (1968:268) und MUELLER (1971:85ff). Beim Normaltypus handelt es sich um ein polygenes Konglomerat mit Dolomit, pelagischen Kalken, Radiolarit und Hornstein als Hauptkomponenten. Aeusserst selten führen die Mocausa-Konglomerate auch Kristallin, das den roten Rigi-Graniten + Gefolgschaft sehr nahe kommt (Vgl. SPECK, 1953:108).

Das Korngrössenspektrum dieser Konglomerate reicht von Psephiten mit Komponenten von mehreren cm Durchmesser bis zu Feinbrekzien und Psammiten. Da psammitische Varietäten vielfach nur schwer zu identifizieren und Konvergenzerscheinungen zu anderen Flyschgesteinen relativ häufig sind, werden bei der quantitativen Erhebung des Leitgeröllbestandes nur die grob- bis feinkonglomeratischen Mocausa-Gesteine berücksichtigt.

Schliff V 6/21 (Polygenes Konglomerat)

Die feinbrekziöse bis sandige Grundmasse wird durch Calcit zementiert.

Als psephitische Komponenten treten auf:

- Dolomit (Gut gerundet, zuckerkörnig)
- Radiolarit (Eckig, rot und grün mit Radiolarienskeletten)
- Pelagische Kalke (Hell, kieslige Lagen, Radiolarienskelette)
- Hornsteine (Mikrokristallines Quarzaggregat mit Spongiennadeln)
- Kieselkalke (Z.T. sandig, Spongiennadeln)
- Fleckenkalke (Graubraun, dunkle Schlieren, Spongiennadeln)

Herkunft:

SPECK (1953:114,115), TRUEMPY & BERSIER (1954:132) und GASSER (1968:268) beziehen die Mocausa-Konglomerate aus dem Cenomanflysch der Simmen-Decke.MUELLER (1971:93) macht jedoch darauf aufmerksam, dass analoge Konglomerate auch aus der kalkalpinen Allgäu-Lechtal-Decke oder westlichen Aequivalenten entstammen könnten.

4.Oelquarzit

Es handelt sich um grüne Quarzite mit charakteristischem speckig-öligem Glanz auf den Bruchflächen.Die Grünfärbung rührt vom beträchtlichen Gehalt an körnigem und pigmentärem Glaukonit.Am Rigi sind die Oelquarzite ausnahmslos von einer dunkelkirschroten, eisenschüssigen Verwitterungshaut überzogen.

Schliff V 6/28 (Oelquarzit)

Hauptkomponenten:

- Quarz (Undulös auslöschend, Körner gegenseitig verzahnt)
- Glaukonit (z.T.körnig, z.T.als Zwickelfüllung und feines Pigment)

Akzessorien:

Biotit, Zirkon

Herkunft:

SPECK (1953:119) gelang es durch Nummulites sp.mindestens für einen Teil der Oelquarzit-Gruppe Tertiäralter nachzuweisen.Nach SPECK (1953:120) und MUELLER (1971:85) kommt damit als Geröll-Lieferant nur Süd- bis ultrahelvetischer Flysch in Frage.Allerdings sind Oelquarzite auch aus nordpenninischem Kreideflysch beschrieben worden (Z.B.Feuerstätter Decke in Vorarlberg).

3.2. DIE ENTWICKLUNG DES LEITGEROELL-BESTANDES DER RIGI-HAUPTSCHUPPE

Die Leitgeröllführung der Rigi Abfolge ist in den Kolonnenprofilen Fig.2 dargestellt.

Von alpintektonischer Bedeutung ist der vertikal gestaffelte Einsatz der verschiedenen Leitgeröllarten. In allen Profilen erfolgt er mehr oder weniger auf dem gleichen Niveau. Als erste treten die Oelquarzite in der Mittleren Weggiser Serie auf, wobei der Einsatz allmählich erfolgt. Gegen das Hangende erscheinen dann der Reihe nach die restlichen Leitgeröllarten:

- Niv:1200 m die Radiolarite
- Niv:1450 m die Mocausa-Konglomerate
- Niv:1600 m das Kristallin

Nach ihrem ersten Auftreten sind alle Leitgerölle durch die ganze Rigi Abfolge bis zuoberst durchgehend verfolgbar. Nur an der Scheidegg herrschen andere Verhältnisse. Hier setzen im Niv:2250 m ausser den Oelquarziten sämtliche Leitgerölle aus. Bis in die profilhöchsten Horizonte erfolgen 5 Wechsel von Leitgeröll-führenden und -freien Nagelfluhen. Für alpintektonische Rekonstruktionen seien noch folgende Beobachtungen festgehalten:

a) Die Schärfe des Wechsels von Kristallin freien, Mocausa-Konglomerat führenden zu Kristallin und Mocausa-Konglomerat führenden Nagelfluhen im Uebergangsbereich Radiolarit reiche Serie/Bunte Serie.

b) Die positive Korrelation von Kristallin- und Mocausa-Konglomerat-Gehalt nach dem Kristallin-Einsatz.

c) Die positive Korrelation zwischen Radiolaritgeröll-Führung und dem Gehalt an Radiolaritkomponenten in den Mocausa-Konglomeraten der Radiolarit reichen Serie.

Tab.1 Geröllzählungen in der Rigi-Molasse

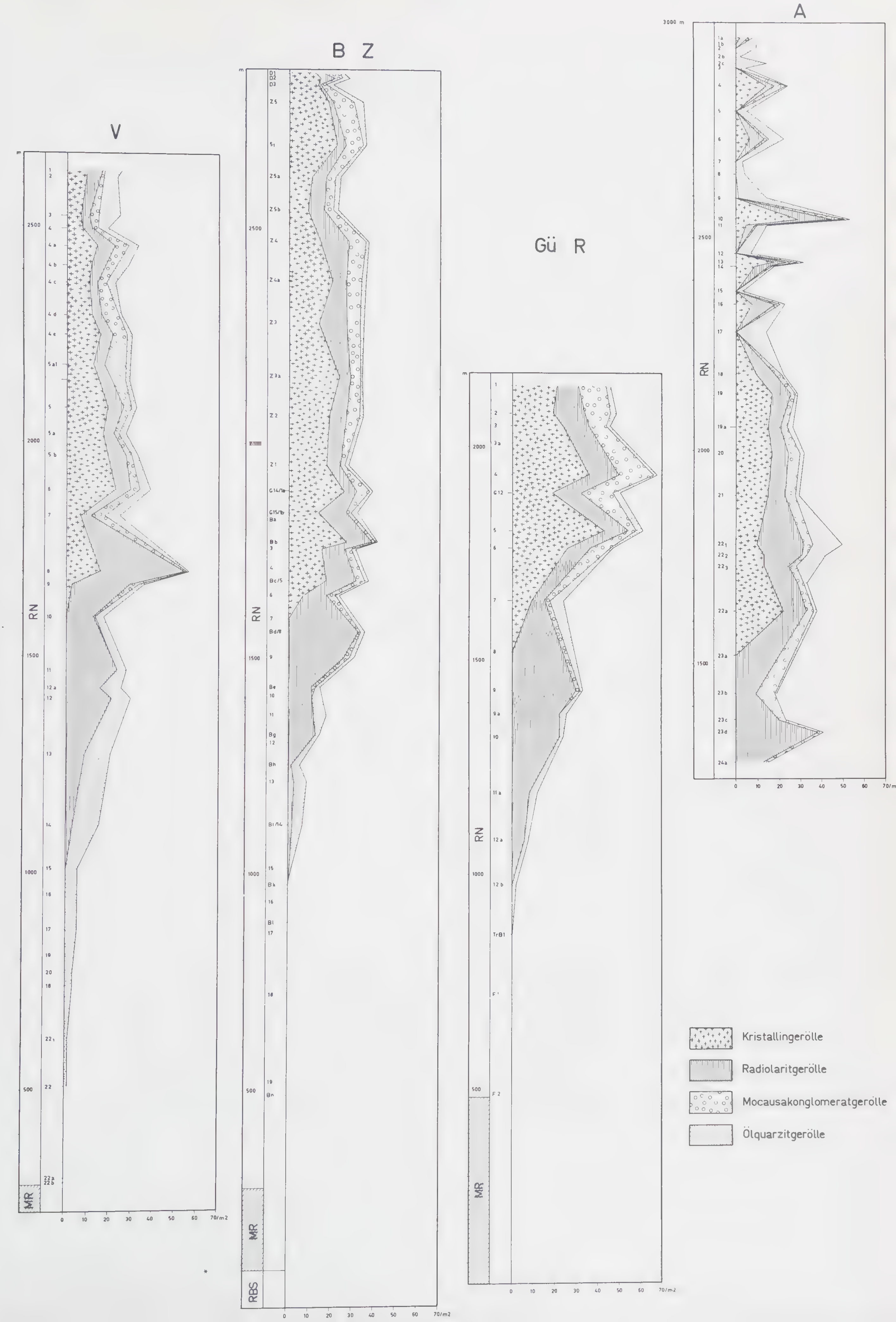
	RIGI-HAUPTSCHUPPE				TEUFFIBACH-SCHUPPENZONE				
Lokalitäten Nr. *1)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
KRISTALLIN	1	-	22	-	-	-	-	-	-
Nicht metamorphes Kristallin	-	-	17	-	-	-	-	-	-
Rote Granite	-	-	15	-	-	-	-	-	-
Rote Quarzporphyre	-	-	2	-	-	-	-	-	-
Rote Aplite	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Weiss-grünliche Granite-Granodiorite	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Metamorphes Kristallin	1	-	4	-	-	-	-	-	-
Biotit-Muskowit-Gneise	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Glimmerschiefer-Glimmerquarzite	-	-	3	-	-	-	-	-	-
Prasinite	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Marmor	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Kristallin i.w.S.	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Granitbrekzien-Arkosesandsteine	-	-	1	-	-	-	-	-	-
SEDIMENTE									
Radiolarite + Begleitgesteine	-	32	11	-	-	10	-	19	-
Radiolarite rot	-	18	8	-	-	9	-	12	-
grün	-	7	3	-	-	-	-	-	-
schokoladebraun	-	1	-	-	-	-	-	-	-
Radiolaritbrekzien	-	5	-	-	-	1	-	3	-
Radiolaritführende dichte Kalke	-	1	-	-	-	-	-	4	-
Konglomerate	2	-	16	-	-	2	-	6	-
Mocausa-Konglomerate grob	-	-	5	-	-	1	-	3	-
fein	-	-	11	-	-	1	-	3	-
Mocausa-artige Konglomerate	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Dolomite + Begleitgesteine	11	9	6	-	-	9	-	11	16
Dolomite gelb zuckerkörnig	10	8	5	-	-	8	-	10	13
dunkel	1	1	1	-	-	-	-	-	1
Dolomitbrekzien	-	-	-	-	-	1	-	1	2
Hornsteine-Spongite + Begleitgesteine	1	2	2	-	-	-	-	1	-
Hornsteine-Spongite schwarz	1	1	+	-	-	-	-	1	-
Hornsteinführende Kalke	-	1	2	-	-	-	-	-	-
Dichte pelagische Kalke weiss-hell	-	26	9	-	-	-	-	-	-

Tab.1 Forts.

<u>Oelquarzite + Begleitgesteine</u>	2	1	1	4	4	1	3	-	1
Oelquarzite	2	1	1	2	3	1	2	-	1
Glaukonitische Quarzite	-	-	-	2	1	-	1	-	-
<u>Dichte Kalke</u>	27	2	4	-	-	2	5	7	2
Dichte Kalke rötlich-rot	-	1	2	-	-	1	-	-	-
blau-grau	27	-	-	-	-	-	-	-	-
dunkelgrau-grau	-	-	1	-	-	-	2	3	-
dunkelbraun-braun	-	1	1	-	-	1	-	2	2
gelblich-bräunlich	-	-	-	-	-	-	3	2	-
<u>Dichte Fleckenkalke</u>	-	2	1	-	-	1	-	5	5
Kieselige Fleckenkalke dunkel	-	2	1	-	-	-	-	-	-
Mergelige Fleckenkalke dunkel	-	-	-	-	-	1	-	1	1
gelb-braun	-	-	-	-	-	-	-	4	4
<u>Mergelige Kalke-Mergelkalke</u>	-	-	-	19	14	3	+	-	6
Mergelige Kalke dunkelgrau-grau	-	-	-	2	3	-	-	-	3
gelb-hell	-	-	-	17	11	3	-	-	3
<u>Kieselige Kalke-Kieselkalke</u>	-	-	-	2	2	7	3	11	-
Kieselige Kalke dunkelgrau-grau	-	-	-	-	-	3	-	1	-
bräunlich	-	-	-	2	2	4	-	10	-
<u>Sandkalke-Kalksandsteine</u>	38	7	13	68	67	56	79	22	38
Sandkalke-Kalksandsteine grau	-	-	5	7	6	1	6	-	29
blau-grau	38	-	-	-	-	-	-	-	-
bräunlich	-	7	8	61	61	55	73	-	9
<u>Sandsteine-Quarzite</u>	6	16	15	3	10	8	5	10	27
Sandsteine grünlich	4	13	2	-	-	-	-	-	-
grau									
braun	-	2	12	-	-	-	-	-	-
Glaukonitische Sandsteine	-	1	-	-	3	1	-	1	3
Quarzitische Sandsteine	-	-	-	3	7	7	5	9	24
Quarzite hell-bräunlich	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<u>Spongite-Lydite + Begleitgesteine</u>	-	-	-	-	-	1	5	3	-
Spongite-Lydite braun-grau	-	-	-	-	-	1	5	3	-
<u>Atypisches</u>	1	-	2	-	-	-	-	-	-
Gangquarze	-	-	2	-	-	-	-	-	-
Gangcalcite	1	-	-	-	-	-	-	-	-

*1) Lokalitäten siehe Fig. 1

Fig. 2 Stratigraphische Verbreitung ausgewählter Leitgerölle (Rigi-Hauptschuppe)



3.3. SCHWERMINERAL-ANALYSEN AN FLYSCHGEROELLEN

1. Allgemeines

Die Flysch-Sandkalke bis Kalksandsteine stellen einen Hauptbestandteil der Nagelfluhen der Weggiser Serie, der Scheidegg-Serie, sowie der Teuffibach-Schuppenzone dar (Vgl.Tab.1 und Fig.4).Die Gruppe der Sandkalke und Kalksandsteine ist herkunftsmässig heterogen.Zahlreiche Fazieskonvergenzen verhindern eine Aufgliederung in herkunftsspeziefische Gruppen auf rein petrographischem Wege.Zu diesem Zweck wurden daher die häufigsten Vertreter dieser flyschgesteinsreichen NF-Typen auf ihre SM-Führung untersucht.

2. Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in Fig.3 dargestellt.Als wichtigste Unterscheidungsmerkmale erwiesen sich Granat-, Glaukonit- und Spinell-Gehalt.Aufgrund des Granat- und Spinell-Gehalts lassen sich folgende Gruppen unterscheiden:

I. Flysch-Kalksandsteine mit niedrigem Granat-Gehalt:

- Ia. Spinell-führende Flysch-Kalksandsteine
- Ib. Spinell-freie "

II. Flysch-Kalksandsteine mit hohem Granat-Gehalt:

- IIa. Spinell-führende Flysch-Kalksandsteine
- IIb. Spinell-freie "

Herkunft:

Die alpinen Flyschkomplexe der Schweizer Alpen sind leider noch nicht ausreichend durch schwermineralogische Daten belegt.Die wenigen SM-Analysen stammen von FUECHTBAUER (1964:278) und GASSER (1968:270) aus den Flyschen der Simmen-, Brekzien-,Klippen- und Niesen-Decke, sowie

aus dem Schlieren- und Gurnigel-Flysch. Detailliertere Untersuchungen werden zurzeit von W.FLUECK in den präalpinen Flyschen vorgenommen. Die Psammite der Kreide- und Altteriär-Serien der nördlichen Ostalpen von Tirol bis Niederösterreich wurden von G.WOLETZ (1963:89ff) auf horizontale und vertikale Variationen des SM-Bestandes untersucht.

Der Heimweisung wird hier gemäss GASSER (1968:271) die paläogeographische Konzeption der Ober Kreide und des Paleozäns von TRUEMPY (1960:853) zugrunde gelegt. Danach existiert in der Ober Kreide ein interner und ein externer Flyschtrog. Diese beiden Tröge werden durch einen Gürtel mit pelagischer Couches Rouges-Fazies voneinander getrennt. Der interne Flyschtrog liegt im südpenninischen und ostalpinen Bereich und umfasst den Ablagerungsraum der Simmen-Decke s.l.;der externe Trog annähernd den ultrahelvetischen bis nordpenninischen Bereich. Aus diesem Raum stammt nach TRUEMPY (1960:876f) der Niesen-, Gurnigel- und der Schlieren-Flysch.

Granat fehlt praktisch in den Sedimenten der internen Flyschtröge (Vgl.GASSER,1968:272). Nach den neuesten SM-Untersuchungen von W.FLUECK (Mdl.Mitt.) beinhaltet die Simmen-Decke s.l. sowohl Spinell-führende, als auch Spinell-freie Flyschanteile.

Granat ist charakteristisch für die externen Flyschtröge. Nach GASSER (1968:272) nimmt der Gehalt vom ultrahelvetischen Ablagerungsraum (Schlieren- und Gurnigel-Flysch) nach N (Subalpiner Flysch) sukzessive zu.

Spinell fehlt in den externen Flyschen. Er konnte aber von GASSER (1968:310ff) im subalpinen Flysch, der sehr wahrscheinlich aus etlichen Grossschuppen verschiedener Provenienz besteht (Vgl.auch M.FURRER,1949:149), stellenweise in beachtlichen Mengen festgestellt werden.Möglicher-

weise stellt er hier ein Umlagerungsprodukt interner Flysche dar.

Gestützt auf die bisherigen Kenntnisse stammen die Granat-armen Flysch-Kalksandsteingerölle der Gruppe I demnach aus den internen Flyschtrögen:
Die im Typus der Bunten NF häufig auftretenden Spinell-führenden, grauen Flysch-Kalksandsteine (Flysch-Kalksandsteine Gruppe Ia) stimmen in der SM-Zusammensetzung sehr gut mit den Spinell-führenden Teilen des Simmen-Flysches überein (Vgl.GASSER 1968:270).Im Dünnschliff zeigen diese Flysch-Kalksandsteine weitgehende Uebereinstimmung mit den der Simmen-Decke zugewiesenen "Grès calcaires de type Flysch, type I" von TRUEMPY & BERSIER (1954:129).Ihr Auftreten in den Mocausa-Konglomerat-reichen Partien der Rigi Abfolge ist ein weiteres Indiz für eine Abkunft aus dem Cenoman-Flysch der Simmen-Decke.

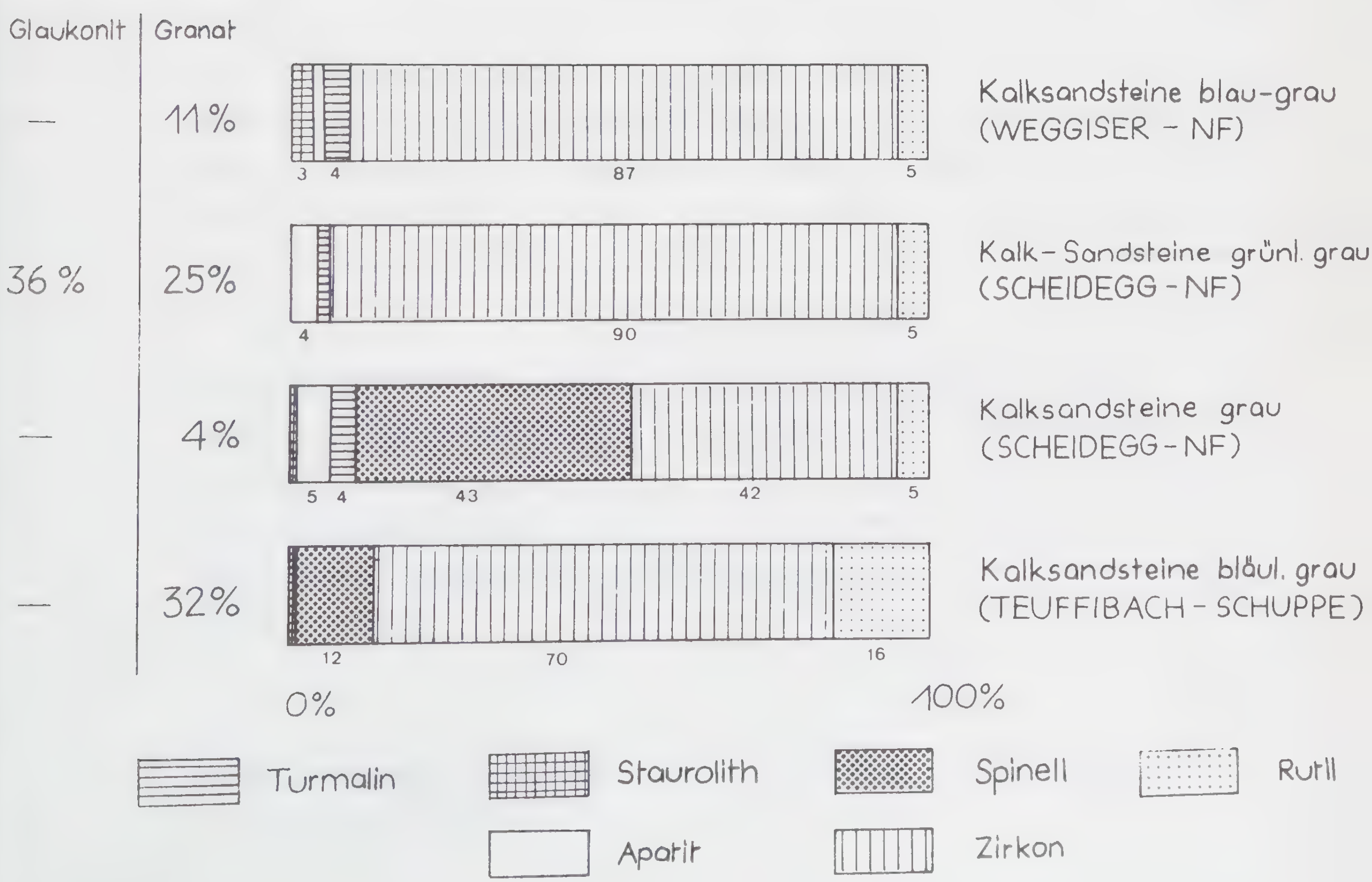
Die unter den Flysch-Kalksandsteinen der Weggiser Serie dominierenden dolomitarenitischen, Spinell-freien, blau-grauen Kalksandsteine (Flysch-Kalksandsteine Gruppe Ib) könnten nach W.FLUECK (Mdl.Mitt.) aus dem südpenninischen bis ostalpinen Ablagerungsraum, möglicherweise aus dem Spinell-freien, Apatit-armen, jüngsten Teil des Simmen-Flysches, dem "Plattenflysch" entstammen. Eine Abkunft aus Spinell-freien Einheiten des subalpinen Flysches bleibt jedoch nicht ausgeschlossen.

Die Granat-reichen Flysch-Kalksandsteingerölle der Gruppe II stammen aus den externen Flyschtrögen:
Die im Scheidegg-NF-Typus dominierenden Spinell-freien, grauen, z.T. grünlichen, braungelb anwitternden Kalksandsteine (Flysch-Kalksandsteine Gruppe IIb) führen als cha-

rakteristischen Bestandteil Glaukonit (Bis 40% der Summe aller SM, excl. Granat). Dieser spricht nach SPECK (1953) für nordpenninischen bis südhelvetischen Ablagerungsraum. Glaukonit ist sehr häufig im Wäggitaler Flysch. Aufgrund der Apatit-Armut kann eine Beziehung zum Niesenflysch ausgeschlossen werden.

Die Spinell-führenden, den Flyschpsammiten der Weggiser NF makroskopisch sehr nahestehenden bläulich-grauen Kalksandsteine der Teuffibach-Schuppe (Fl. Kalksandsteine der Gruppe IIa) haben — aufgrund des hohen Granat-Gehalts — starke Anklänge an den subalpinen Flysch.

Fig.3 Schwermineral Zusammensetzung charakteristischer Flyschgerölle



3.4. SPURENELEMENT-ANALYSEN AN RADIOLARITGEROELLEN

3.4.1. Allgemeines

Die Arbeit von H.R.GRUNAU & TH.HUEGI (1957:347ff) gab die Aregung zu den Untersuchungen.Radiolaritgerölle können in der Rigi-Schüttung s.str. bedeutende Anteile am Geröllbestand ausmachen (Vgl.Tab.1 und Tab.2). Bis anhin ist es infolge Fazieskonvergenzen nicht gelungen ihre Herkunft sicherzustellen. Unklar blieb auch, ob es sich bei den Radiolariten der Rigi-Schüttung s.str. um eine homogene Gruppe, oder um Abkömmlinge verschiedener Ablagerungsräume handelt. Um neue Anhaltspunkte dafür zu gewinnen,wurden aus verschiedenen Niveaus der Rigi-Schüttung s.str. Radiolaritgerölle entnommen *) und auf ihren Spurenelement-Gehalt untersucht.

3.4.2. Methodik

400mg Radiolarit wurden fein pulverisiert, auf dem Wasserbad mit 2ml konz. Salzsäure (HCl,32% p.a.,Merck) und 8ml Flusssäure (HF,32% p.a.,Merck) aufgeschlossen und eingedampft.Der Eindampfungsrückstand wurde mit selbsthergestellter konz.hypochloriger Säure (HClO) unter Zugabe von Wasser in Lösung aufgenommen und auf 200ml verdünnt.

Mit flammenloser Atomabsorbtions-Spektrophotometrie (AAS , Apparat Perkin-Elmer 305 A, Hohlkathodenlampe, Graphitrohrcuvette, HG 470) wurden die Spurenmetalle Cu, Pb, Cr und Sr quantitativ bestimmt. Eine 1000ppm-Stammlösung von jedem Element (Fisher, Scientific Co.,Fairlawn New Jersey) diente zur Herstellung der Standards.

*) Probeentnahmestellen an den Lokalitäten der Geröllzählungen (Sh.Fig.1)

Dr. WYTTENBACH, Eidg. Institut für Reaktorforschung, Würenlingen bestätigte mit Neutronen-Aktivierungs-Analyse (NAA) die Werte für Cu und Cr der Probe 9/1.

3.4.3. Ergebnisse

Tab. 7 Spurenelement-Gehalt von Radiolarit-Geröllen

Probe Nr.	Analyse Meth.	Sr (ppm)	Cr (ppm)	Pb (ppm)	Cu (ppm)
8/1	AAS	27,5	81,5	4,0	13,0
8/2	AAS	29,5	92,0	4,0	12,0
9/1	NAA	n.a.	100,0	n.a.	10,0
9/1	AAS	29,5	114,0	2,5	13,0
9/2	AAS	30,5	103,0	2,5	12,0
3/1	AAS	27,5	83,0	1.0	12,0
3/2	AAS	27,0	83,0	1,0	10,0
2/1	AAS	39,0	61,0	3,5	11,0
2/2	AAS	32,0	63,2	3,5	12,0

Fehler: AAS ± 15 % , NAA ± 50 %

n.a. = Nicht ausgeführt weil Halbwertszeit zu gross

Aufgrund der Spurenelement-Assoziation unterscheiden GRUNAU & HUEGI (1957: 347 ff) 3 Radiolarit-Fazien:

1. Hochpenninischer Radiolarit-Bezirk
2. Südalpiner Radiolarit-Bezirk
3. Radiolaritbezirk der Simmen-Decke

Der Vergleich mit den Analyse-Resultaten (Vgl. GRUNAU & GUEGI 1957: 348, Tab. II) zeigt, dass die Rigi-Radiolarite am ehesten aus dem relativ Cr-reichen Hochpenninischen Radiolarit-Bezirk stammen. Von den Radiolariten der Simmen-Decke s.str. unterscheiden sie sich vor allem durch den

niedrigeren Sr- (30 ppm gegenüber 100), sowie den niedrigeren Cu-Gehalt (12 ppm gegenüber 100). Allerdings liegen bis anhin nur aus dem Simmentaler Abschnitt der Simmen-Decke s.str. Vergleichsdaten vor. Um allfällige Variationen zu erfassen, sind an den Radiolariten der heute noch anstehenden Aequivalente der Simmen-Decke s.str., insbesondere der Iberger Klippen weitere Spurenelement-Analysen vorgesehen.

Nach GRUNAU & HUEGI (1957:348) steigt der Cr-Gehalt von Radiolariten mit zunehmendem Ophiolitheinfluss. Der hohe Cr-Gehalt der Rigi-Radiolarite von durchschnittlich 85 ppm spricht demnach für eine enge Radiolarit/Ophiolith-Vergesellschaftung im ursprünglichen Ablagerungsraum. Möglicherweise handelt es sich um eine heute weitgehend verschwundene Einheit.

3.5. NAGELFLUHTYPEN

Die NF-Typologie zielt auf eine möglichst operable Grundlage für die lithostratigraphische Gliederung des zentralen Rigi-Schuttfächers ab.Ferner sollen die geröllpetrographischen NF-Typen dazu dienen, einzelne Abschnitte des zentralen Schuttfächers mit dessen peripheren Bereichen auf einfache Weise zu korrelieren.

Charakteristische Vertreter der 4 Haupttypen sind in Fig.4 dargestellt.

Der Typus"Weggiser-NF" ist nach der von HABICHT (1945:60) eingeführten und von MUELLER (1971:96) im E Bereich der Rigi-Schüttung erstmals angewandten, klaren Typologie eine Flyschgesteinsreiche Kalk-Dolomit-NF.Hauptbestandteile mit Anteilen um 40% sind dichte, blau-graue Kalke und blau-graue dolomitarenitische Sandkalke bis Kalksandsteine.Ob diese aus dem südpenninischen bis ostalpinen Ablagerungsraum direkt stammen, oder ob sie als Umlagerungsprodukt der präalpinen Flysche, aus dem subalpinen Flysch zu beziehen sind, konnte anhand ihrer SM-Zusammensetzung nicht eindeutig festgestellt werden (Vgl.Kap.3.3.).Der Spinellreichtum der NF-Matrix deutet darauf hin,dass süd- bis ultrapenninische Einheiten als Geröll-Lieferanten im Spiel waren.Andererseits zeigen vereinzelte Vorkommen von wenig transportresistenten, schlechtgerundeten, bis 20 cm grossen, grünlichen Biotit-Muskowit-Gneisbrocken Geröll-Lieferungen aus den subalpinen Flyschkomplexen an.Die mit Anteilen von > 10% auftretenden, relativ kleinen, gut gerundeten, z.T.zuckerkörnigen Dolomitgerölle sind nach SPECK (1953:79) überwiegend ostalpiner Herkunft.Die im Vergleich zu anderen NF-Typen gute Rundung und die geringe durchschnitt-

liche Geröllgrösse (Vgl.Kap.7.2.) deuten auf einen relativ langen Transprotweg.Eventuell stammen einige Komponenten aus den Mocausa-Konglomeraten und liegen hier auf tertiärer Lagerstätte.

Der Typus "Scheidegg-NF" ist eine reine Flysch-NF.Hauptbestandteil mit Anteilen von > 60% bilden äusserst monotone, graue, bräunlich anwitternde, Glaukonit-führende Sandkalke bis Kalksandsteine (Vgl.Tab.1). Diese sind aufgrund ihres SM-Bestandes vorwiegend externer Provenienz und zeigen aufgrund ihres ausgeprägten Glaukonit-Gehaltes Anklänge an den Wäggitaler Flysch.Das Fehlen von Spinell in der NF-Matrix deutet darauf hin, dass praktisch kein präalpines Flyschmaterial an der Schüttung dieses NF-Typs beteiligt war.Der sehr minime bis fehlende Dolomitgehalt und das Fehlen von Dolomitgeröllen weisen auf eine Absenz dolomitreicher Trias der Klippen-Decke und des Ostalpins im Liefergebiet der Scheidegg-NF.Die schlechte Rundung und die relativ grossen Gerölle (Vgl.Kap.7.2.) lassen eine geringe Distanz zwischen Erosions- und Ablagerungsraum annehmen.

Der Geröllbestand der "Radiolarit-NF" besteht zu über 50% aus Gesteinen der Radiolarit/ Aptychenkalk-Gruppe.Der Radiolarit mit seiner brekziösen Gefolgschaft bildet stets den Hauptbestandteil mit Anteilen von > 20% (Vgl.Tab.1 und Fig.4).Aufgrund des Spurenelement-Bestandes scheinen sämtliche Radiolarite der Rigi-Schüttung s.str. dem selben Typ anzugehören (Vgl.Kap.3.4.). Als ursprünglicher Ablagerungsraum muss eine heute verschwundene Einheit ins Auge gefasst werden.
In den typischen Vertretern dieser Nagelfluhen sind Mocausa-Konglomerat-Gerölle spärlich.Diese unterscheiden sich von den Mocausa-Konglomeraten der Bunten NF durch einen höheren

Gehalt an Radiolarit-Komponenten, was auf eine enge paläogeographische Beziehung zwischen Radiolarit liefernden Einheiten und der Simmen-Decke s.l. schliessen lässt.

Die "Bunte NF" ist nach der Typologie von HABICHT (1945a:60) eine Kristallin-führende Kalk-Dolomit-NF.Sie entspricht der von SPECK (1953:67) beschriebenen Bunten Rigi/Rossberg-NF aus dem Goldauer Bergsturzschutt unterhalb Gnippen.Der Kristallin-Gehalt schwankt zwischen 5 und 20%.Die roten Rigi-Granite mit ihrer gelegentlich auftretenden Ganggefolgschaft dominieren stark über alle übrigen Kristallin-Komponenten (Vgl.Tab.1).Mocausa-Konglomerat-Gerölle haben in diesem NF-Typ ihre grösste Verbreitung (Bis 16%).Ebenfalls deutlich ist die Radiolarit/Aptychenkalk-Gruppe vertreten (Bis 15%).Flyschgesteine können bis 45% des Gesamtbestandes ausmachen.Bei den psammitischen Vertretern lassen sich 2 Hauptgruppen unterscheiden:

a) Die mit grosser Wahrscheinlichkeit aus der Simmen-Decke s.l. stammenden, Spinell-führenden Flysch-Kalksandsteine der Gruppe Ia (Vgl.Kap.3.3.)

b) Die Spinell-freien, Granat-reichen, Glaukonit-führenden Flysch-Kalksandsteine der Gruppe IIb, die dem nordpenninischen bis südhelvetischen Ablagerungsraum entstammen dürften (Vgl.Kap.3.3.)

Dolomitgerölle spielen mit Anteilen $<$10% eine eher untergeordnete Rolle.

Im LM-Bestand unterscheidet sich die Bunte NF von allen andern NF-Typen durch eine deutliche Feldspat-Führung.

Die Anwesenheit der angeführten

Fig.4 Petrographische und lithofazielle Zusammensetzung der Nagelfluhtypen der Rigi-Hauptschuppe

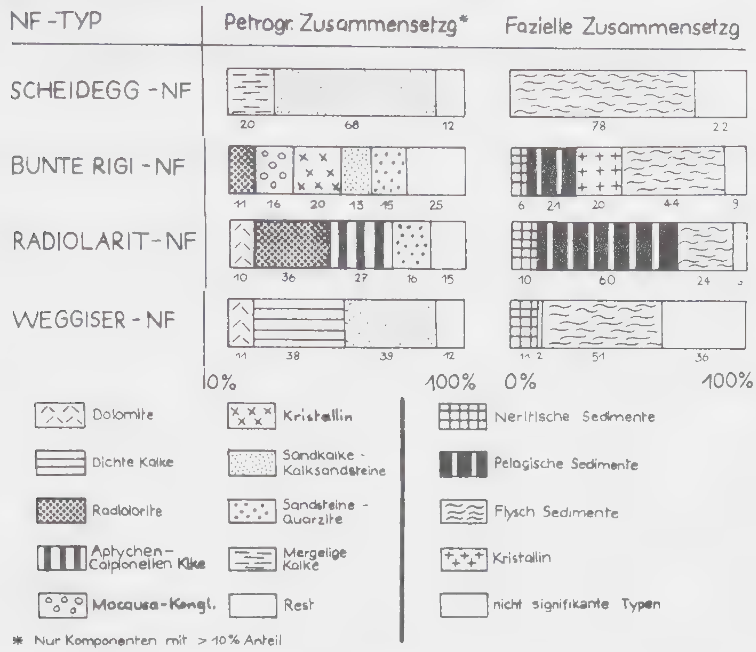
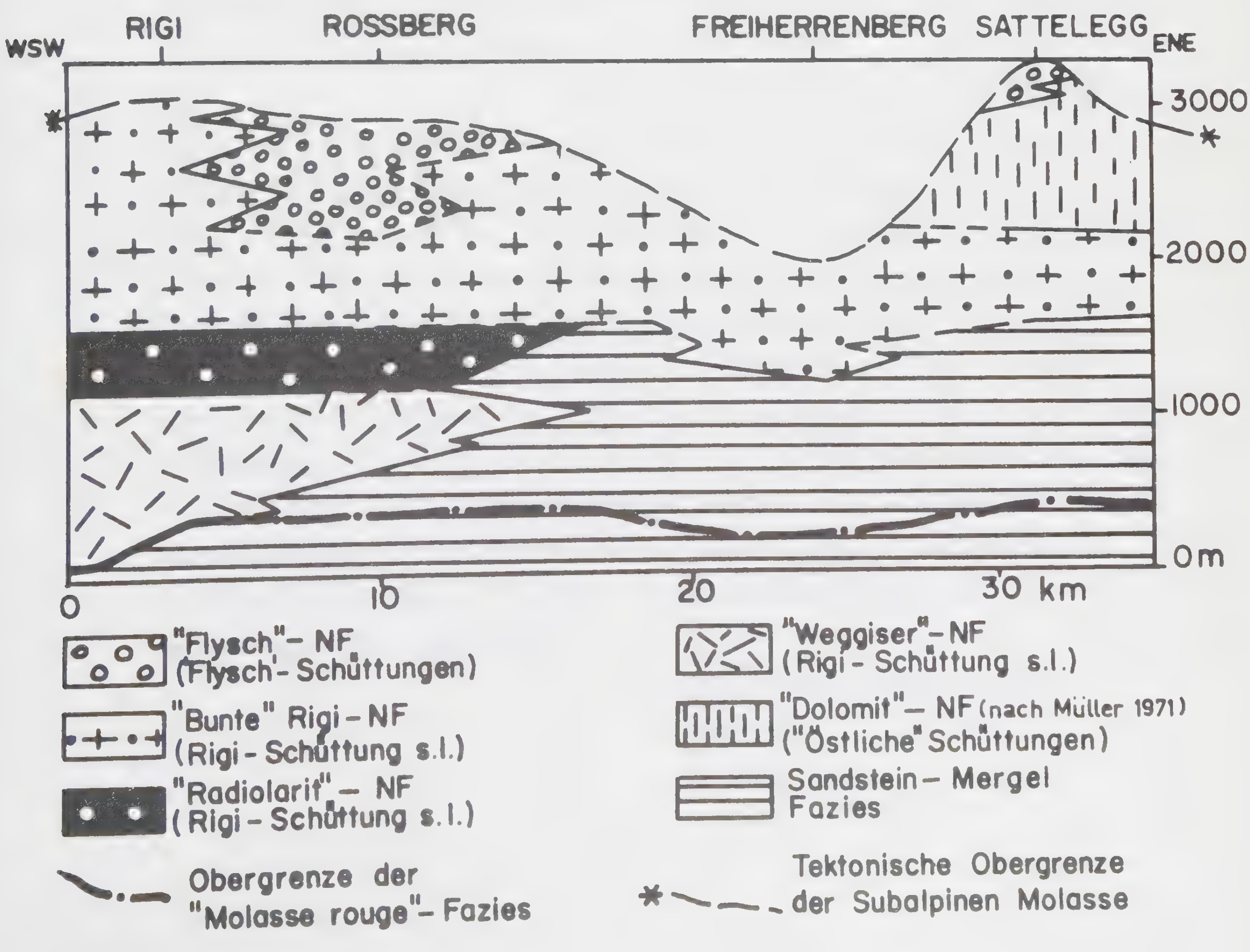


Fig.5 Vertikale und horizontale Verbreitung der NF-Typen



Geröllgruppen zeigt, dass während der Schüttung der "bunten" Nagelfluhen die Erosionsoberfläche im Einzugsgebiet durch verschiedene tektonische Einheiten hinabgriff.

3.6. VERTIKALE UND HORIZONTALE VERBREITUNG DER NF-TYPEN

Die vertikale und horizontale Verbreitung der NF-Typen ist in den Kolonnenprofilen Fig.14 und aus Fig.5 ersichtlich.

Die untersten 1200m der Rigi-Hauptschuppe werden durchgehend gebildet von Flyschgesteins-reichen Kalk-Dolomit Konglomeraten vom Typ "Weggis". Wie am Rigi bildet dieser Typ s auch am Rossberg die Basis der USM-Nagelfluhserien (Vgl.A.RISSI,1968:18). Die Geröllschüttung reichte aber nicht bis in die Gegend des Sihlsees. Der Weggiser NF im Hangenden der Molasse Rouge entspricht dort nach MUELLER (1971:99) eine ca. 1200m mächtige Mergel-Sandstein Abfolge (Vgl.Fig.5).

Die Weggiser NF wird im Hangenden abgelöst von einem für den zentralen Rigi-Schuttfächer äusserst charakteristischen NF-Typ, der Radiolarit-NF. Diese lässt sich in einer durchschnittlichen Mächtigkeit von ca.350m durch die ganze Rigi-Hauptschuppe verfolgen und bildet eine lithostratigraphische Leitserie. Dieser Typus wird im E angrenzenden Rossberg von RISSI (1968) noch nicht erwähnt. Bis in den peripheren Bereich der Rigi-Schüttung s.l. sind trotz der hohen Transportresistenz der vorherrschenden Radiolarit-Komponenten keine Radiolarit Nagelfluhen geschüttet worden. Hier folgen nach MUELLER (1971:99) über der basalen Mergel-Sandstein Abfolge direkt "bunte" Nagelfluhen.

Gegen das Hangende nimmt der

reine Radiolarit NF-Typus zunehmend Kristallingerölle auf (Vgl.Fig.2).Der Uebergangsbereich zur eigentlichen Bunten NF beträgt rund 100-200m.Bei Vitznau (Vgl.Fig.2 und Fig.14,Profil V), am Dossen (Vgl.Fig.2 und Fig.14, Profil B/Z) und am Rigi Kulm (Vgl.Fig.2 und Fig.14,Profil Gü/R) tritt die Bunte NF durchgehend bis in die profilhöchsten Horizonte auf.An der Scheidegg dagegen beginnt auf Niv:2250m eine eigentümliche Wechsellagerung von Bunter NF mit Konglomeraten vom Typus "Scheidegg".Aufgrund von Detailuntersuchungen konnte im obersten Profilabschnitt (Niv:2250m bis Niv:3000m) von der Scheidegg nach W eine sukzessive Abnahme der Zahl der Bänke mit Scheidegg-NF von 55% auf 0% über eine Horizontaldistanz von 1100m festgestellt werden.

Der Bunte NF-Typus besitzt eine wesentlich grössere Horizontalverbreitung als die Weggiser NF oder die Radiolarit-NF.Er tritt am Rossberg im mittleren und oberen Teil auf (Vgl.RISSI, 1968:20) und kann nach MUELLER (1971:98) bis ins Wäggital durchverfolgt werden.Vom Rigi bis zum Rinderweidhorn E des Sihlsees nimmt die Mächtigkeit der Bunten Serie von 1600m auf 600m ab (Vgl.Fig.5).

Wie an der Scheidegg treten in den obersten Partien der USM zwischen Lauerzersee und Alptal (Mdl.Mitt.A.RISSI) und S Sattelegg (Vgl.MUELLER, 1971:96) am Alpenkontakt reine Flysch-Nagelfluhen vom Typus "Scheidegg" auf.Allen diesen Vorkommen ist Grobblockigkeit, schlechte Rundung und fehlende Einregelung der Komponenten gemeinsam.Dies lässt auf chaotische Ablagerungsbedingungen schliessen.Es ist deshalb unwahrscheinlich, dass diese Nagelfluhen einem gemeinsamen Schüttungszentrum entspringen, wie dies für die Untere Bunte NF anzunehmen ist.

3.7. GEROELLPETROGRAPHISCHER VERGLEICH DER RIGI-SCHUETTUNG MIT DEN BENACHBARTEN GLEICHALTRIGEN USM-SCHUETTUNGEN

1. Allgemeines

Viele in den Geröllanalysen ausgeschiedenen Gesteinsgruppen lassen sich infolge zahlreicher Fazieskonvergenzen nicht objektiv gegeneinander abgrenzen. Um die Gefahr subjektiver Verfälschung auf ein Minimum zu reduzieren, mussten einige Gruppen weitergefasst, andere weggelassen werden.

Da die Zahl der Analysen in allen Vergleichsgebieten im Verhältnis zur Mächtigkeit der Nagelfluh-Abfolgen relativ gering ist, wurde auf eine Berechnung von Durchschnittswerten verzichtet. Als Vergleichsdaten dienten aufgrund der Geröllanalysen von GASSER (1968:281) und MUELLER (1971:88f) die maximalen Anteile einer Gesteinsgruppe am Geröllbestand des betrachteten Schuttfächers. Die Werte sind in Tab.2 zusammengestellt.

2. Ergebnisse

a) Entlebucher Schüttungen

Die Beichlen-Farneren-Schüttung als die westlichste des Betrachtungsraumes und die eng benachbarte Heuboden-Aeschitannen-Schüttung zeichnen sich gegenüber der Rigi-Schüttung s.str. durch eine relativ schwache Radiolarit-Führung aus (4 resp.3 gegenüber 26%). Die Flyschgesteine sind hingegen stärker vertreten als am Rigi (61 resp.77 gegenüber 46%). Im Rigi-Schuttfächer dominiert das nicht metamorphe Kristallin immer eindeutig über das metamorphe. In den Entlebucher Schuttfächern liegen die Verhältnisse

gerade umgekehrt. Die für den Rigi äusserst charakteristischen, stets über alle anderen Kristallinarten dominierenden roten Rigi-Granite treten dort nur sporadisch auf (0,5 gegenüber 15%).

Interessant ist, dass die Entlebucher Schüttungen von der Horwer Basis bis in die höchsten Horizonte durchwegs Kristallin führen (Vgl. GASSER, 1968:282), am Rigi dagegen der untere Teil von ca. 1200m Mächtigkeit Kristallin-frei ist. Die Dolomitgeröll-Gehalte der Beichlen-Farneren-Schüttung übertreffen diejenigen der für Rigi-Verhältnisse Dolomit-reichen Weggiser Nagelfluhen bei weitem (45 gegenüber 11%). Die für die Bunte Rigi-Serie typischen Mocausa-Konglomerate (5%) treten in der Heuboden-Aeschitannen-Schüttung wohl noch in Erscheinung (2%), haben aber im weiter W gelegenen Beichlen-Farneren-Schuttfächer nur noch ganz untergeordnete Bedeutung (0,5%).

b) <u>Scheidegg-Schüttung</u>

Die Scheidegg-Schüttung zeichnet sich gegenüber der Rigi-Schüttung s.str. durch die Absenz von Dolomiten, Radiolariten, Mocausa-Konglomeraten und Kristallin aus. Es handelt sich um eine reine "Flysch-Schüttung" mit Flyschpsammit-Anteilen bis 87% gegenüber maximal 46% in der Rigi-Schüttung s.str.

c) <u>Oestliche Bereiche der Rigi-Schüttung s.l.</u>

Die von H.P. MUELLER (1971:93) erstmals als eigenständiges System postulierte <u>Friherrenberg-Schüttung</u> unterscheidet sich nur unwesentlich von der Rigi-Schüttung s.str.. Die aufgeführten Unterschiede beruhen z.T. auf irreführenden Angaben über die SM-Führung der Rigi-Hauptschuppe. Bemerkenswert ist lediglich die geringere Vertretung der Radio-

larit-Gruppe (10 gegenüber 26%), sowie der geringere Flysch-Anteil (29 gegenüber 46%).Von Bedeutung ist jedoch der von H.P.MUELLER gemachte Fund eines Nummuliten-Discocyclinen-Kalkgerölls in einem tiefen Niveau des Friherrenberg.Er beweist, dass in diesem E Abschnitt die Erosion stellenweise schon früh durch die präalpinen Einheiten bis ins helvetische Tertiär hinunter gegriffen hatte.

Abweichungen vom Geröllbestand des zentralen Bereichs der Rigi-Schüttung s.str. können auch an deren peripheren konglomeratischen Ausläufern E des Sihlsees beobachtet werden.Erwähnenswert ist die geringere Bedeutung der Radiolarit-Gruppe (14 gegenüber 26%).Dies dürfte wohl auf die geringe horizontale Ausstrahlung der konglomeratischen"Radiolarit-reichen Serie" zurück zu führen sein (Vgl.Fig.5).Der deutlich höhere Dolomitgeröll-Gehalt (33 gegenüber 11%) könnte als Ergebnis selektiver Anreicherung der "zähen" Dolomitgerölle gedeutet werden.Auffallend ist ferner der geringere Gehalt an Flyschpsammiten (24 gegenüber 46%).Gesamthaft bestehen viel stärkere Anklänge zu den "Oestlichen Schüttungen" als zur Rigi-Schüttung s.str..

d)"Oestliche" Schüttungen

Der mit den "bunten" Rigi-Nagelfluhen in der Gegend der Sattelegg E des Sihlsees interferierende, von MUELLER (1971:95) als "Oestliche Schüttung" bezeichnete Fächer, verfügt über eine starke Dolomitgeröll-Vormacht (61 gegenüber 11%) am Rigi.Kristallin und Mocausa-Konglomerate fehlen völlig.Die Radiolarit-Gruppe erreicht nur bescheidene Anteile (6 gegenüber 26%).

Tab.2 Geröllpetrographischer Vergleich der Rigi-Schüttung mit den benachbarten gleichaltrigen USM-Schüttungen (Maximalwerte in %).

W S W — E N E

	BEICHLEN-FARNEREN	HEUBODEN-AESCHITANNEN	RIGI s.str. (zentraler Bereich)	SCHEIDEGG	FRIHERREN-BERG *1)	RIGI s.l. (e Peripherie *2)	OESTLICHE SCHUETTUNG (Sattelegg)
Nicht metamorphes Kristallin	5	3	17	—	19	26	—
Rote Granite	+	+	15	—	15	20	—
Grünliche Granite	3	2	1	—	3	5	—
Metamorphes Kristallin	11	5	4	—	3	1	—
Dolomite	45	13	11	—	19	33	61
Radiolarite	4	3	26	—	10	14	6
Mocausa Konglomerate (grob)	+	2	5	—	9	3	—
Flyschpsammite	61	77	46	87	29	24	38
Oelquarzite	5	2	2	4	2	2	1
Nummulitenkalke	—	—	—	—	1	—	—

*1) H.P.(Müller, 1971) *2) do.

Quellen: U. Gasser (1968 : 281), H.P. Müller (1971 : 88 ff) und eigene Untersuchungen.

4. S E D I M E N T P E T R O G R A P H I E

4.1. BISHERIGE UNTERSUCHUNGEN

Eine Zusammenstellung der älteren Untersuchungen in der Subalpinen Molasse gab A.MATTER (1964:397). H.FUECHTBAUER (1964) bearbeitete einige Proben des Rossbergs und der Rigi-Hauptschuppe. F.HOFMANN (1968) analysierte einige Sandsteine vom Rossberg. Zu Vergleichszwecken für die vorliegende Arbeit äusserst wichtig sind die sedimentpetrographischen Untersuchungen von U.GASSER (1968), sowie die neuesten Analysen von H.P.MUELLER (1971) und S.SCHLANKE (1973) und die sich in Gang befindlichen von A.RISSI.

4.2. SCHWERMINERAL-ANALYSEN

4.2.1. Methodik

Um vergleichbare Resultate mit den neuesten sedimentpetrographischen Arbeiten zu erhalten, wurde die von HOFMANN am Geologischen Institut der ETHZ eingeführte Methodik übernommen (Vgl. HOFMANN 1957a ; FUECHTBAUER 1954 und 1964). Zur Schonung des HCl-empfindlichen Apatits erfolgte die Entkarbonatisierung mit 15%-iger Ameisensäure, die Trennung mit Bromoform d=2,88. Untersucht wurde der Korngrössenbereich 0,06-0,4mm (Vgl.FUECHTBAUER 1954, 1964; HOFMANN 1957a; MATTER 1964; GASSER 1966, 1968). Als Einbettungsmittel diente Aroclor Nr.4465 (n=1,66).

Pro Präparat wurden mindestens 100 Körner ausgezählt; der Granat wurde wegen seiner Häufigkeit gesondert erfasst. In Uebereinstimmung mit FUECHTBAUER (1964), HOFMANN (1957a-1969) und MUELLER (1971) aber im Gegensatz zu MATTER (1964), GASSER (1966,1968) wurde die Gesamtmenge der bestimmten Schwermineralien inkl.Granat = 100 % gesetzt und der Granat

in % der gesamten Schwermineral-Fraktion ausgedrückt. In Anlehnung an die Auszählungsmehtodik von MATTER (1964: 399) blieben Erze, Glimmer, Chlorit, Glaukonit, sowie der z. T. autigen entstehende Baryt (Vgl. VON MOOS, 1935: 184; GASSER, 1966: 741) ausserhalb der quantitativen Erfassung.

Die Schwermineral-Zusammensetzung wird gemäss FUECHTBAUER (1964: 165) und MUELLER (1971: 27) als sedimentpetrographische Formel wiedergegeben. Granat wird immer vorangestellt. Bildet er das häufigste SM, wird er gross geschrieben (G), sonst klein (g). Sind mehr als 10 % eines Minerals vorhanden, werden die Abkürzungen gross geschrieben und in der Reihenfolge ihrer Häufigkeit angeordnet.

Abkürzungen:

SM	Schweremineral	M	Monazit
G	Granat	R	Rutil
A	Apatit	S	Staurolith
A'	Anatas	S'	Spinell
B	Brookit	T	Turmalin
D	Disthen	T'	Titanit
E	Epidot	Z	Zirkon
G'	Glaukophan	Z'	Zoisit
H	Hornblende		

4.2.2. Herkunft der Schwermineralien

Auf die enormen Schwierigkeiten, die der Beheimatung der Schwermineralien entgegenstehen, hat schon GASSER (1966:754) hingewiesen. Die Klärung der Herkunftsverhältnisse beschränkt sich im folgenden auf die wichtigsten Repräsentanten der Rigi-Schüttung s.l..

Granat: Nach den bisherigen Kenntnissen dürfte der Granat zur Hauptsache aus folgenden Einheiten stammen:

a) Granat-führende Gneise (Vgl. FUECHTBAUER, 1964: 259 und GASSER, 1968:295)

b) Psammite der externen Flyschtröge (Vgl. Kap. 3.3.)

Zirkon: Als wichtigste Lieferanten für den Zirkon kommen in Frage:

a) Flyschpsammite der internen und externen Tröge (Vgl. FUECHTBAUER, 1964:261 ; GASSER, 1968:295 ; MUELLER, 1971:47, 102 ; Kap. 3.3. und Fig. 3)

b) Kristallin der Rigi-Granit-Gruppe (Vgl. MUELLER, 1971:47, 102).

Spinell: Der nach R. HANTKE (Mdl. Mitt.) primär wohl zum grossen Teil aus südpenninischen Ophiolithen herzuleitende Spinell, stammt nach GASSER (1968:295) fast ausschliesslich aus Flyschpsammiten der internen Tröge (Vgl. auch Kap. 3.3.) und läge somit in der USM auf ternärer Lagerstätte.

Rutil: Der Rutil wird von FUECHTBAUER (1964:261) als Durchläufer-Mineral bezeichnet und dürfte zum grossen Teil aus aufgearbeitetem Flysch stammen.

<u>Staurolith</u>: Für den Staurolith kommen 2 Lieferanten in Frage:

a) Gneise und Glimmerschiefer aus ostalpinen Kristallin-Komplexen (Vgl. FUECHTBAUER, 1964: 261)

b) Flyschpsammite des Typs III von MUELLER (1971:102). Eine Zuordnung dieses Typs zu bestimmten Flysch-Komplexen steht noch aus.

<u>Apatit</u>: Aufgrund der von FUECHTBAUER (1964:259) und MUELLER (1971:103) vorgenommenen SM-Analysen an NF-Geröllen stehen für den Apatit 2 Hauptlieferanten im Vordergrund:

a) Granite i.w.S., speziell rote Rigi-Granite

b) Flyschpsammite der externen Tröge.

4.2.3. Schwermineral-Führung der Rigi-Hauptschuppe

Die stratigraphische Veränderung des SM-Spektrums von der USM-Basis der Rigi-Hauptschuppe bis in deren jüngste Schichtglieder ist in den Kolonnenprofilen Fig.6 dargestellt.

<u>Spinell</u>:

Charakteristisch ist die konforme Spinell-Entwicklung in allen Profilen. Der Spinell-Gehalt steigt von der Rigi-Basis über die Molasse Rouge und die Weggiser Serie allmählich an. In der Radiolarit-reichen Serie und der unteren Bunten Serie erreicht er Maximalwerte und klingt gegen das Dach der Rigi-Hauptschuppe wieder langsam ab.

Eine Sonderstellung nimmt die Scheidegg ein. Hier erfolgt ab Niv: 2100m eine Wechsellagerung zwischen Spinell-freien und Spinell-führenden Horizonten. Die Spinell-freien decken sich ziemlich genau mit den NF-Vorkommen vom Typ "Scheidegg" (Reine Flysch-NF), während die Spinell-führenden, die Einschaltungen von

Bunter NF widerspiegeln (Vgl.Kap.3.2.und Kap.3.6.).Dies erhärtet die Vermutung, dass hier Interferenz von zwei Schüttungen mit voneinander getrennten Einzugsgebieten vorliegt.Der Scheidegg-Schüttung mit ihrem vorwiegend aus Flyschkomponenten bestehenden Geröllbestand (Vgl. Kap.3.5.), muss aufgrund der Spinell-Absenz ein Einzugsgebiet zugeordnet werden, das praktisch nur aus ultrahelvetisch bis nordpenninischen Flysch-Einheiten bestand (Vgl.Kap.4.2.2. und Kap.3.3.).

Die Rigi-Schüttung s.str.(Vgl. Kap.3.5.) verfügte über ein komplexeres Einzugsgebiet, an dessen Aufbau Einheiten der Spinell-reichen internen Flysche (Vgl.Kap.3.3.) insbesondere Flyschanteile der Simmen-Decke wesentlich beteiligt waren (Vgl.Kap.4.2.2.).

Von schüttungsmechanischer Bedeutung ist die horizontale Zunahme des Gesamt-Spinell-Gehalts gegen N bzw.E in stratigraphisch vergleichbaren Profilabschnitten (Von Profil V über B/Z nach Gü/R und A). Am deutlichsten zu erkennen ist diese Tendenz im Bereich des Spinell-Maximums, in der Radiolarit-reichen Serie. Hier beträgt der durchschnittliche Spinell-Gehalt im S, in Profil V 24% und steigt gegen N über Profil B/Z mit 33% auf 43% in Profil Gü/R an.Von Profil V nach Profil A im NE beträgt die Zunahme 20%.Dies kann — aufgrund der hohen Transportresistenz des Spinells (Vgl.GASSER, 1968:271) und/oder der relativ niedrigen Transportresistenz der Spinell-reichen Geröllfracht (Z.B.Ophiolithe) — als selektive Anreicherung gedeutet werden.Damit ergibt sich ein Indiz für die generelle Richtung der zentralen Rigi-Schüttung s.str.: Von S nach N mit Schüttungs-Achse W der Scheidegg.

Staurolith:

Staurolith tritt in der Rigi-Hauptschuppe nur in sehr bescheidenen Mengen auf. Diese hebt sich somit deutlich ab von den Sandstein-Serien an der Basis von Profil B/Z, mit Staurolith-Werten von durchschnittlich 26%, gegenüber durchschnittlich 1% aller Proben im Hangenden.

Rutil:

Die Entwicklung des Rutil-Gehalts verläuft in allen Profilen mehr oder weniger konform, mit Höchstwerten in der Molasse Rouge bis Niv:500m (Durchschnitt 18%). In den Profilen V und B/Z, wo die konglomeratische Fazies bis ins Niv:250m hinuntergreift (Vgl.Fig.14), umfasst die Rutil-reiche Zone auch den untersten Teil der Weggiser Serie s.str. In der ganzen übrigen Rigi-Serie bleibt der Rutil-Anteil, von einigen eng begrenzten Spitzen an der Scheidegg abgesehen, mit bescheidenen Werten von durchschnittlich 10% mehr oder weniger konstant und zeigt keine charakteristischen Trends.

Zirkon:

Der auffallend hohe Zirkon-Gehalt verhält sich in der ganzen Rigi-Hauptschuppe komplementär zum Spinell und zeigt gegen das Dach eine steigende Tendenz.

Granat:

Auffallend ist die positive Korrelation zwischen Granat- und Rutil-Gehalt. Wie der Rutil erreicht der Granat Höchstwerte in der Molasse Rouge und der untersten Weggiser-Serie bis zum Niv:500m. Auch die eng begrenzten, Rutil-reichen Partien an der Scheidegg zeichnen sich durch einen für diesen Profilabschnitt überdurchschnittlichen Granat-Gehalt aus.

Von alpintektonischem Interesse können folgende Beobachtungen sein:

Die für die Bunte Serie charakteristischen roten Rigi-

Granite und Quarzporphyre weisen nach den SM-Untersuchungen von MUELLER (1971:103) nur bescheidene Granat-Werte von 10% auf. Zudem nimmt der Granat-Gehalt in der ganzen Rigi-Hauptschuppe nach dem Einsatz von Kristallingeröllen am Uebergang Radiolarit-reiche Serie/Bunte Serie nicht zu. Dies zeigt, dass der "Rigi-Kristallin-Komplex" im Einzugsgebiet der Urreuss nur über äusserst bescheidene metamorphe Anteile verfügt haben kann.

Uebrige Schwermineralien:
Die übrigen Schwermineralien, Turmalin und Apatit, treten nur sporadisch in Mengen von 10% auf. Epidot fehlt in allen Bereichen der Rigi-Hauptschuppe praktisch völlig.

4.3. LEICHTMINERAL-ANALYSEN

4.3.1. Methodik

Die Leichtmineralien wurden nach der von F.HOFMANN am Geol. Institut ETHZ eingeführten Methode aufbereitet und ausgezählt. Die Entkarbonatisierung erfolgte mit HCl. Untersucht wurde der Korngrössenbereich 0,1 bis 0,15 mm. Als Einbettungsmittel diente Kanadabalsam (n = 1,54).

Pro Präparat wurden 100 Körner gezählt. Glimmer, der je nach Chemismus sowohl in der SM- als auch in der LM-Fraktion auftritt, blieb unberücksichtigt.

Erfasst wurden: Chert (Ch)
Feldspat (Fe)
Quarz (Qu)

4.3.2. Leichtmineral-Führung der Rigi-Hauptschuppe

Aus den Kolonnenprofilen Fig. 6 .... ist die Entwicklung des Leichtmineral-Bestandes ersichtlich.

Feldspat:
Dem Feldspat kommt im zentralen Bereich des Rigi-Schuttfächers die Bedeutung eines Leitminerals zu. Die Rigi-Hauptschuppe lässt sich aufspalten in einen Feldspat-freien bis -armen unteren Teil und einen Feldspat-führenden bis -reichen oberen Teil. Der Feldspat-Einsatz erfolgt in allen Profilen im Uebergang Radiolarit-reiche Serie/Bunte Serie. Der Anteil nimmt gegen oben sukzessive zu.

Von Bedeutung ist die unterschiedliche Höhenlage des Feldspat Einsatzes innerhalb des Sedimentstapels:

Profil V	Einsatz auf	Niv:1800 m
Profil B+Z	" "	Niv:1650 m
Profil Gü +R	" "	Niv:1550 m
Profil A	" "	Niv:1550 m

In erster Annäherung darf angenommen werden, dass der Einsatz in allen Profilen gleichzeitig erfolgte und dass sich das Akkumulationsniveau durch ebene Flächen darstellen lässt. Der aus den Profilhöhen des Feldspat-Einsatzes unter diesen Voraussetzungen konstruierte "Paleoslope" hat eine Lage von (N 5°E/3° ....) bzw (N 25°E/3°....).Der Materialtransport zur Zeit des Feldspat-Einsatzes erfolgte somit aus dem Sektor SSE-SSW in Richtung NNW-NNE.

Die Scheidegg-Serie hebt sich durch eine Wechsellagerung von Feldspat-freien und Feldspat-führenden Profilabschnitten von den übrigen Bereichen der Rigi-Hauptschuppe ab. Die Feldspat-führenden Horizonte spiegeln die Einschaltungen von "Bunter" NF wider (Vgl. auch Fig. 14).

Die basale Sandstein-Serie von Profil B/2 (Rigi-Basisschuppe) unterscheidet sich durch den beachtlichen durchschnittlichen Feldspat-Gehalt von 13 % vom praktisch Feldspat-freien, unteren Teil der Rigi-Hauptschuppe.

Chert und Quarz

Diese Leichtmineralien verhalten sich weitgehend komplementär. Besonders quarzreich sind die untersten und die obersten Partien der Rigi Hauptschuppe.

4.4. CALCIMETRIE

4.4.1 Methodik

Der Karbonat-Gehalt wurde mit der Passon-Methode nach F. HOFMANN (1957: 291; 1959: 108) bestimmt.

Für die Karbonatbestimmungen wurden nach Möglichkeit mittelkörnige Sandsteine verwendet. Siltige bis mergelige Sandsteine wurden gemieden, da sich herausstellte, dass die Karbonat-Gehalte von Mergeln und eingelagerten Sandsteinen desselben Horizontes stark

differieren. FUECHTBAUER (1964: 247) hat zwischen Porosität und Karbonat-Gehalt eine negative Korrelation festgestellt.

Die von GASSER und NABHOLZ (1969: 467) durch komplexometrische Titration (Vgl. G. MUELLER, 1956 a,b) gewonnen Resultate stimmen mit denjenigen des gleichen Schichtkomplexes von HOFMANN (1956: 109) überein. Die Ergebnisse beider Methoden sind demnach vergleichbar.

4.4.2. Die Entwicklung des Karbonat-Gehaltes der Rigi-Hauptschuppe.

Die Entwicklung des Calcit- und Dolomit-Gehaltes sowie das entsprechende Calcit/Dolomit-Verhältnis ist in den Kolonnenprofilen Fig. 6 .... dargestellt.

Die Maximalwerte des Gesamtkarbonatgehaltes liegen im Bereich der Weggiser Serie s. l. (V 20 = 92, B 15 = 84, R 12 = 95%). Ein relatives Minimum, sowohl im Gesamtkarbonat-,als auch im Dolomit-Gehalt zeichnet sich am Uebergang Radiolarit-reiche Serie/Bunte Serie im Profilabschnitt Niv:1500 m bis Niv:1850 m ab. Eine deutliche Abnahme des Gesamtkarbonat- und des Dolomit-Geahlts von durchschnittlich 67 % bzw. 25 % im Liegenden auf 52 % bzw. 4 % im Hangenden, begleitet von einem Anstieg des C/D-Verhältnisses von 2 im Liegenden auf 12 im Hangenden erfolgt in den obersten Partien der Bunten Serie s. str.

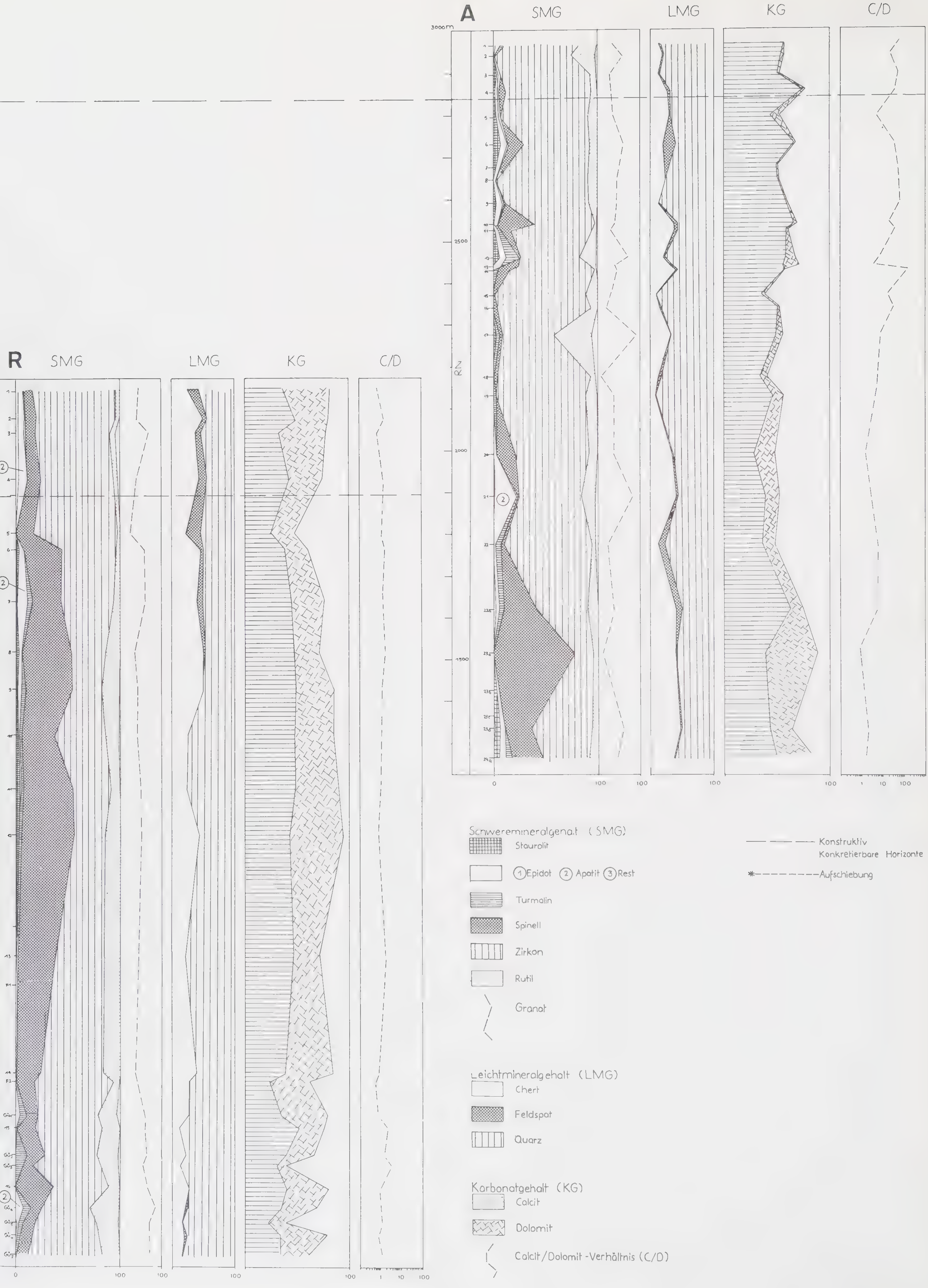
Auch an der Scheidegg weist das C/D-Verhältnis gegen die höchsten Horizonte steigende Tendenz auf. Im Gegensatz zu den übrigen Bereichen der Rigi-Hauptschuppe, wo Dolomit durchgehend in deutlichen Mengen auftritt, ist die Scheidegg-Serie von wenigen dolomitischen Einschaltungen abgesehen,praktisch dolomitfrei.

Tab.3 Sedimentpetrographische Charakteristika der Lithostratigraphischen Einheiten der Rigi-Hauptschuppe (Durchschnittswerte in %)

	S M G (%)							L M G (%)			K G (%)			
	Gr	Zi	Sp	Ru	Ap	Tu	St	Qu	Fe	Ch	Ca	Do	C/D	SM-Formel
BUNTE SERIE s. l.	46	71	12	9	3	2	2	60	5	31	49	16	3,1	G,ZS'rat
Scheidegg-Serie	44	73	7	11	3	2	2	73	3	24	55	3	18	G,ZRs'ats
Scheidegg-Serie nur Scheidegg NF-Typen	49	73	1	15	2	3	2	79	1	20	51	3	17	G,ZRtas
Scheidegg-Serie nur Bunte NF-Typen	39	74	14	5	3	2	1	64	6	30	61	4	15	g,ZS'rat
Bunte Serie s. str.	43	70	15	8	4	2	1	57	6	34	42	22	1,9	G,ZS'rat
Bunte Serie s. str. Niv:2500 m bis Niv:2800 m	42	79	1	14	1	1	3	68	6	27	48	4	12	g,ZRs
Bunte Serie s. str. Niv:1600 m bis Niv:2500 m	44	69	16	7	4	2	1	55	6	35	42	25	1,7	G,ZS'rat
RADIOLARIT-REICHE SERIE	43	47	35	10	2	2	3	61	0,5	39	48	27	1,8	G,ZS'Rsta
WEGGISER SERIE s. l.	51	60	20	15	2	3	-	75	-	24	36	27	1,3	G,ZS'Rta
Weggiser Serie s. str.	41	59	24	12	1	3	-	70	-	30	40	34	1,2	G,ZS'Rt
Molasse Rouge	64	62	15	18	2	3	-	82	0,5	16	33	21	1,6	G,ZRS'ta
HORWER SANDSTEIN	15	78	11	4	2	4	1	97	-	3	47	6	7,8	g,ZS'tra
OBERE RIGI-ABFOLGE	44	70	13	9	3	2	2	60	5	31	49	16	3,1	G,ZS'rats
UNTERE RIGI-ABFOLGE	49	57	26	13	2	3	1	71	-	29	40	27	1,5	G,ZS'Rta
RIGI-HAUPTSCHUPPE	46	63	20	11	2	3	1	66	3	31	43	22	2	G,ZS'Rta
RIGI-BASISSCHUPPE	85	38	25	6	1	1	26	71	13	16	42	16	2,6	G,ZSS'r

Fig.6 Sedimentpetrographie der Rigi-Hauptschuppe





A
SMG
LMG
KG
C/D
3000m
2500
2000
1500
R
SMG
LMG
KG
C/D
0
100
100
100
100
1
10
100
Schwermineralgehalt (SMG)
Staurolit
1 Epidot 2 Apatit 3 Rest
Turmalin
Spinell
Zirkon
Rutil
Granat
Leichtmineralgehalt (LMG)
Chert
Feldspat
Quarz
Karbonatgehalt (KG)
Calcit
Dolomit
Calcit/Dolomit-Verhältnis (C/D)
Konstruktiv
Konkretierbare Horizonte
Aufschiebung

4.5. SEDIMENTPETROGRAPHISCHER VERGLEICH DER RIGI-SCHUETTUNG s.str. MIT DEN BENACHBARTEN, GLEICHALTRIGEN USM-SCHUETTUNGEN

1. Allgemeines

Die Vergleichbarkeit ist durch die gemeinsame Analysen-Methodik aller Bearbeiter des betrachteten Ausschnittes der subalpinen Molasse gewährleistet. Für die zahlenmässige Darstellung mussten lediglich die Granat-Werte von U.GASSER (1968) mit der von der Zürcher Schule angewandten Berechnungsart umgerechnet werden. Bei der relativ grossen Dichte der sedimentpetrographischen Vergleichsdaten schien die Mittelwertbildung gerechtfertigt.

2. Ergebnisse

Die detaillierten Werte sind in Tab.4 dargestellt. Im folgenden sollen die wichtigsten Unterschiede zur Rigi-Schüttung s.str. hervorgehoben werden.

a) Entlebucher Schüttungen

Der Zirkon-Gehalt ist das eindeutigste Unterscheidungsmerkmal gegenüber der Rigi-Schüttung s.str.(10 resp.17 gegenüber 62%). Zu einem grossen Teil dürfte dies auf das Fehlen der als Zirkon-Lieferant wichtigen roten Rigi-Granite + Gefolgschaft im Uraare-Abschnitt zurück zu führen sein(Vgl.Kap.4.2.2.).

Ein weiterer wichtiger Unterschied besteht im Granat-Gehalt: Beichlen-Farneren 78%, Heuboden-Aeschitannen 91% gegenüber Rigi s.str.46%. Damit wird der im geröllpetrographischen Vergleich gemachte Befund unterstrichen, dass metamorphes Kristallin im Rückland der Entlebucher Schüttungen wesentlich grössere Verbreitung besass als im Einzugsgebiet der Urreuss.

Der Spinell als Leitmineral der internen Flysche ist im zentralen Bereich der Rigi-Schüttung s.str. stärker vertreten (21 gegenüber 13%).Das deutliche Zurücktreten von Leitgeröllen der Simmen-Decke (Vgl.Kap.3.7.), zusammen mit der relativen Spinell-Armut lässt vermuten dass die jurassischen und kretazischen Teile der Simmen-Decke s.str. im Uraare-Abschnitt nie die Bedeutung erlangten wie im Rückland der Rigi-Schüttung.

Ein weiteres wichtiges Unterscheidungskriterium gegenüber dem Rigi-Schuttfächer ist der Apatit-Gehalt.Im Beichlen-Farneren-Fächer bildet er nach dem Granat das häufigste SM (45%).Aber auch der Apatit-Gehalt der Heuboden-Aeschitannen-Schüttung liegt mit durchschnittlich 18% eindeutig über demjenigen der Rigi-Schüttung s.str. (2%).Da Granite als potentielle Apatit-Lieferanten im Rückland der Entlebucher Fächer nur in bescheidenem Ausmass vertreten waren (Vgl.Kap.3.7.), muss dieser hauptsächlich aus externen Flyschen abgeleitet werden.

Auch der Turmalin-Gehalt ist ein gutes Unterscheidungsmerkmal.Er stellt in der Heuboden-Aeschitannen-Schüttung gar das zweithäufigste SM (20%).Am Rigi tritt er dagegen nur in bescheidenen Mengen auf (2%).Aufgrund der von GASSER (1968:270) durchgeführten SM-Analysen an Flyschgesteinen ist Turmalin vor allem in den externen Flyschen vertreten.

Der Feldspat-Gehalt liegt in den Schuttfächern des Entlebuch deutlich über demjenigen der Rigi-Schüttung s.str.(16 resp.8 gegenüber 3%).Da dort nichtmetamorphe Gerölle eine sehr untergeordnete Rolle spielen, stammt er wohl zum grössten Teil aus den

wenig transportresistenten Gneisen und Glimmerschiefern. Den metamorphen Einheiten im Einzugsgebiet muss deshalb grösseres Gewicht beigemessen werden, als dies im Geröllbestand zum Ausdruck kommt.

Charakteristisch für die Rigi-Schüttung s.str. ist der relativ hohe Chert-Gehalt von 31% (Radiolarit-reiche Serie 39%). Zwischen Radiolaritgeröll-Führung und Chert-Gehalt besteht offenbar ein direkter Zusammenhang. Die bescheidenen Chert-Werte der Entlebucher Schuttfächer von 8 resp. 6% unterstreichen den geröllpetrographischen Befund, dass die Radiolarit/Aptychenkalk-Gruppe im alpinen Bereich des Uraare-Abschnitts wesentlich schwächer vertreten war als im Einzugsgebiet der Urreuss.

Ein wichtiger Unterschied besteht ferner im höheren Karbonat-Gehalt der Rigi-Schüttung s.str. (66 gegenüber 40 resp. 41%). Obwohl Dolomitgerölle im Beichlen-Farneren-Fächer bis 45% des Geröllbestandes ausmachen (Gegenüber max.11% am Rigi), liegt der Dolomit-Gehalt deutlich tiefer (11 gegenüber 24%). Daraus ergibt sich, dass für den Dolomit-Gehalt des NF-Bindemittels weniger die Dolomitgeröll-Führung ausschlaggebend ist, als vielmehr der Gehalt an Dolomit-reichen Flyschpsammiten.

b) Scheidegg-Schüttung

Wichtigste Unterscheidungskriterien zur Rigi-Schüttung s.str. sind der Spinell- (1 gegenüber 21%) und der Dolomit-Gehalt (3 gegenüber 24%). Daraus geht hervor, dass interne Flysch-Serien im Einzugsgebiet der Scheidegg-Schüttung praktisch fehlen.

c) <u>Oestliche Bereiche der Rigi-Schüttung s.l.</u>

Die <u>Friherrenberg-Schüttung</u> (H.P.MUELLER 1971) kann sedimentpetrographisch von der Rigi-Schüttung s.str. nur schwer unterschieden werden. Lediglich der Apatit-Gehalt (10 gegenüber 2%) stellt eine nennenswerte Abweichung dar.

Die "<u>Oestliche Peripherie der Rigi-Schüttung s.l.</u>" (H.P.MUELLER 1971) unterscheidet sich eindeutig vom zentralen Bereich. Ins Auge springt in erster Linie der viel niedrigere <u>Spinell-Gehalt</u> (5 gegenüber 20%). Angesichts der hohen Transportresistenz des Spinells, wäre gegen die Peripherie des Schuttfächers eher eine Zunahme zu erwarten (Vgl.Kap.4.2.2.). Die Dolomitreiche Schüttung E des Sihlsees weist ebenfalls sehr niedrige Spinell-Werte auf (5%). Sehr wahrscheinlich hat in diesen E Ausläufern des Rigi-Schuttfächers schon eine umfangreiche Mischung mit Material aus den "Oestlichen Schüttungen" stattgefunden.

Ein weiterer Unterschied besteht im <u>Chert-Gehalt</u>, der in der Rigi-Schüttung s.str. durchschnittlich 31%, an der E Peripherie hingegen nur 9% beträgt. Gleich wie der niedrige Radiolarit-Gehalt,dürfte dieser Umstand auf die geringe Horizontalverbreitung der Radiolarit-reichen Serie zurück zu führen sein.

Gesamthaft weisen die von H.P.MUELLER(1971) als E Ausläufer der Rigi-Schüttung s.l. bezeichneten USM-Abfolgen E des Sihlsees sedimentpetrographisch viel stärkere Anklänge an die "Oestlichen Dolomit-Schüttungen", als an die Rigi-Schüttung s.str.auf. Ob das Material vom Rigi s.str., oder aus einem ähnlich struierten E Einzugsgebiet stammt, kann vorderhand nicht gesagt werden. Möglicherweise handelt es sich um eine Mischzone.

d) "Oestliche Schüttungen"

Der wichtigste Unterschied zur Rigi-Schüttung s.str. liegt im niedrigeren Spinell-Gehalt (5 gegenüber 21%).Daraus geht hervor, dass Einheiten der Simmen-Decke im Einzugsgebiet dieser E Zufuhr eine relativ untergeordnete Bedeutung hatten.

Erwähnenswert ist ferner der höhere Apatit- (11 gegenüber 26%) und Turmalin-Gehalt (10 gegenüber 2%).

Die schwächere Chert-Führung (12 gegenüber 31%) geht mit dem verschwindenden Radiolarit-Anteil Hand in Hand.Wie im Entlebucher Abschnitt hatte die Radiolarit/Aptychenkalk-Gruppe offenbar auch in diesem E Bereich nur relativ geringe Bedeutung.

Obwohl die "Oestliche Schüttung" keine Kristallingerölle führt, zeichnet sie sich durch einen relativ hohen Feldspat-Gehalt aus (9 gegenüber 3%). Die"Dolomit-Nagelfluhen" sind nach MUELLER (1971:97) äusserst kleingeröllig;sie zeigen einen gewissen Residualcharakter.Der hohe Feldspat-Gehalt könnte demnach darauf hinweisen, dass im Einzugsgebiet der "Oestlichen Schüttungen" Kristallin angestanden hatte.Angesichts der relativ geringen Verwitterungsresistenz des Feldspats, muss eine Umlagerung eher ausgeschlossen werden.

Trotz dem ausgesprochenen Reichtum an Dolomitgeröllen (bis 61%) liegt der Dolomit-Gehalt mit durchschnittlich 18% unter demjenigen der Rigi-Schüttung s.str.(24%).Der grösste Teil an detritischem Dolomit dürfte demnach auf den Abrieb Dolomit-reicher Psammite aus internen Flyschtrögen zurückzuführen sein.

Tab.4 Sedimentpetrographischer Vergleich der Rigi-Schüttung mit den benachbarten gleichaltrigen USM-Schüttungen (Durchschnittswerte in %)

W S W		BEICHLEN-FARNEREN	HEUBODEN-AESCHTANNEN	RIGI s.str. (zentraler Bereich)	SCHEIDEGG	FRIHERREN-BERG *1)	RIGI s.l. (e Peripherie *2)	OESTLICHE SCHUETTUNG (Sattelegg)	E N E
	SM-Formel	G,ATS'Zr	G,TAZS'Rs	G,ZS'Rta	G,ZRtas	G,ZS'RAts	G,ZRats's	G,ZRATs's	
SMG (%)	Gr	78	91	46	49	39	36	39	
	Ap	45	18	2	2	10	8	11	
	Tu	19	20	2	3	4	7	10	
	Sp	13	13	21	1	20	5	5	
	Zi	10	17	62	73	50	53	47	
	Ru	8	12	11	15	14	19	14	
	St	1	4	1	2	3	3	4	
LMG (%)	Qu	76	83	64	79	79	85	69	
	Fe	16	8	3	1	2	5	9	
	Ch	8	6	31	20	20	9	12	
KG (%)	Ca	29	36	42	51	38	43	43	
	Do	11	5	24	3	16	21	18	
	K	40	41	66	54	54	64	61	
	C/D	2,6	7,2	1,8	17	2,4	2	2,4	

*1) H.P.(Müller,1971) *2) do.

Quellen: U. Gasser (1968 : 309 ff), H.P. Müller (1971 : 134 ff) und eigene Untersuchungen

5. L I T H O S T R A T I G R A P H I E

5.1. ZUR FOSSILFUEHRUNG

Pflanzenreste

In der ganzen Oberen Rigi-Abfolge konnten nirgends Pflanzenreste festgestellt werden.Die untersuchten Mergel-Proben der Scheidegg-Serie erwiesen sich als Pollen-frei. Pflanzenreste scheinen sich auf die Untere Rigi Abfolge zu beschränken.Innerhalb dieser konzentrieren sie sich vor allem auf die Rigi-NE-Flanke.Im Vergleich zum Rossberg muss die Rigi-Hauptschuppe als fossilarm bezeichnet werden.

Aus der Unteren Weggiser Serie s.str. (ca.750m über dem Horwer Sandstein, 0,5km SW Weggis Unterdorf) beschrieb O.HEER (1859:212) folgende Arten:

Comptonia dryandraefolia (BRONGNIART)
Sequoia langsdorfi (BRNGT.) HEER
Paliurus ovoideus HEER
Cinnamomum polymorphum (A.BR.) HEER

mit den Blattformen:
C.spectabile, C.scheuchzeri

In Mergeln desselben Niveaus konnten stark inkohlte Schmizzen festgestellt werden.Interessanterweise entdeckte F.SCHNEIDER am Hirzli ca.800m über den Horwer Sandsteinen ebenfalls Comptonia dryandraefolia (BRONGNIART).Sehr wahrscheinlich dokumentiert dieses Niveau nach R.HANTKE eine vegetationsfreundliche, ruhige Sedimentationsphase.Ob dieses Niveau einen Leithorizont darstellt,muss durch paläobotanische, pollenanalytische und Säugetier-paläontologische Quervergleiche abgeklärt werden.

Ein analoger jüngerer Horizont liegt im Niv:1650m (Uebergang Radiolarit-reiche Serie/Bunte Serie), wo an der Rigi-NE-Flanke (Koord. 680,575/212,350) ein Erlen-Blatt gefunden wurde.Ungefähr im gleichen Profilabschnitt liegt die von P.MENZEL (1913) und E.BAUMBERGER (1929) bearbeitete Pflanzen- und Gastropoden-Fundstelle Gnipen am Rossberg.

Nannoplankton

Aus dem Rigi-Schuttfächer s.str. wurden 10 Mergelproben auf Nannoplankton untersucht.Leider gelang es nur in 2 Horizonten bestimmbare Formen zu isolieren.Die eine Probe (How 3) stammt aus den Mergeln der Rigi-Basis, unmittelbar über den Horwer Sandsteinen; die andere (R 7c) aus der Mitte der Rigi-Abfolge (Niv:1650m, Uebergang Radiolarit-reiche Serie/Bunte Serie).Es konnten nur eingeschwemmte Formen gefunden werden.Von besonderer Bedeutung sind die jüngsten Vertreter. H.THIERSTEIN bestimmte folgende Arten:

Probe How 3 (Koord.674,100/210,550)

Cyclococcolithus formosus (KAMPTNER)
Reticulofenestra umbilica (LEVIN)
Chiasmolithus solitus (BRAMLETTE & SULLIVAN)
Dictyococcites dictyodus (DEFLANDRE & FERT)
Lantermithus minutus (STRADNER)
Discoaster saipanensis (BRAMLETTE & RIEDEL)
Zygrhablithus bijugatus (DEFLANDRE)

Alle Mittel Eozän

Probe R 7c (Koord.680,575/212,350)

Discoaster lodoensis (BRAMLETTE & RIEDEL)
Marthasterites tribrachiatus (BRAMLETTE & RIEDEL)
Discoaster distinctus (MARTINI)

Alle Unter Eozän

Es macht den Anschein, dass die eingeschwemmten Nannofloren im Rigi-Schuttfächer s.str. vom Liegenden ins Hangende sukzessive älter werden. Dies wäre ein Hinweis, dass von den im Einzugsgebiet der Urreuss anstehenden ultrahelvetischen bis nordpenninischen Flyschen — im Rigi-Fächer durch Oelquarzite und Granat-reiche Kalksandsteingerölle dokumentiert (Vgl.Kap.3.1. und 3.3. und 10) — zuerst die jüngsten Einheiten zum Abtrag gelangten.

5.2. LITHOSTRATIGRAPHISCHE GLIEDERUNGSKRITERIEN

Als brauchbare lithostratigraphische Gliederungskriterien haben sich herausgestellt:

- Leitgerölle, besonders Radiolarit- und Kristallin-Einsatz
- Feldspat-Einsatz

Der stratigraphische Uebergang von klassischen Vertretern des einen NF-Typs zum andern ist unscharf (Vgl.Kap.3.6.). Die "Mischzone" zwischen Weggiser NF und Radiolarit-reicher NF besitzt eine Mächtigkeit von 80-130m, diejenige zwischen Radiolarit-reicher NF und Bunter NF erstreckt sich über 100-150m. Die engere Einschränkung dieser Uebergangszonen erfolgt am zweckmässigsten aufgrund des erstmaligen Auftretens von Geröllen der Radiolarit- bzw. der Kristallin-Gruppe. Im Uebergangsbereich Radiolarit-reiche Serie/Bunte Serie bietet sich zusätzlich der Feldspat-Einsatz als Abgrenzungskriterium an.

Ergebnisse

Die lithostratigraphischen Hauptelemente sind in Fig.7 dargestellt.

5.3. HORWER SANDSTEIN

Die Rigi-Hauptaufschiebung greift E Greppen bis ins Liegende der Horwer Sandsteine hinunter.Da sie im Küssnachtersee verläuft, ist sie der direkten Beobachtung nicht zugänglich.Der unterste Teil der Horwer Platten ist an verschiedenen Stellen am Seeufer aufgeschlossen.Sie geben sich dort als dünnplattige, nach oben grobbankiger werdende, Glimmer- und Pflanzenhäcksel-führende Sandsteine zu erkennen.

5.4. WEGGISER SERIE s.l.

Die Weggiser Serie s.l. besitzt eine mittlere Mächtigkeit von 1200m.Sie beginnt im Hangenden der Horwer Sandsteine und endet mit dem Radiolarit-Einsatz.Im unteren Teil liegt sie in 2 verschiedenen Faziesausbildungen vor:

a)Konglomeratische Fazies
Der konglomeratische Teil deckt sich im wesentlichen mit der stratigraphischen Verbreitung der Nagelfluhen vom Typus "Weggis" (Vgl.Kap.3.6.) und wird als Weggiser Serie s.str.bezeichnet.

b)Molasse Rouge-Fazies
Es handelt sich um eine Wechsellagerung von tiefroten, violettroten, grünlich-bläulich gefleckten Mergeln mit geringmächtigen Silt- und Kalksandstein-Bänken (Vgl.auch Kap.6.3.).Die schönsten Aufschlüsse finden sich im unteren Gürschbachtobel, 2,4km SE Immensee.

Die Molasse Rouge bildet das NF-freie Bindeglied zwischen Horwer Sandstein und Weggiser Serie s.str..Obwohl ihre Basis an der Rigi-NE-Flanke, am Gürschbach nicht aufgeschlossen ist, weist die Molasse Rouge eine Mächtigkeit von über 400m auf.Gegen SW greifen

greifen die Nagelfluhen der Weggiser Serie s.str. in immer tiefere Schichtglieder hinunter. Im Seeuferwald zwischen Rörli und Baumenweid, 2km SW Greppen, wo die Horwer Sandsteine aufgeschlossen sind, schrumpft die Molasse Rouge auf eine Mächtigkeit von 40m zusammen.

5.5. RADIOLARIT-REICHE SERIE

Die Radiolarit-reiche Serie weist eine durchschnittliche Mächtigkeit von 400m auf. Sie beginnt mit dem Kristallin-Einsatz. Im unteren Teil (Uebergangszone I) treten Nagelfluhen auf, die geröllpetrographisch zwischen Weggiser NF und Radiolarit-NF stehen. Der mittlere und obere Teil fällt mit der stratigraphischen Verbreitung des eigentlichen Radiolarit-NF Typs zusammen.

Sedimentpetrographisch unterscheidet sich die Radiolarit-reiche Serie von der Weggiser Serie s.l. vor allem durch den niedrigeren Zirkon-Gehalt (47 gegenüber 60%), den höheren Spinell-Gehalt (10 gegenüber 15%), sowie den höheren Chert-Gehalt (39 gegenüber 24%).(Vgl.Tab.3).

5.6. BUNTE SERIE s.l.

Die Bunte Serie s.l. beginnt mit dem Kristallin-Einsatz und reicht bis ins Dach der Rigi-Hauptschuppe. Ihre Gesamtmächtigkeit beträgt max. 1400m. Die Nagelfluhen der untersten 100-150m stehen in der Zusammensetzung zwischen dem Normaltypus der Radiolarit-NF und der Bunten NF (Uebergangszone II). Die obere Hälfte der Bunten Serie liegt geröllpetrographisch in 2 verschiedenen Ausbildungen vor:

a) Bunte Serie s.str.

Die Bunte Serie s.str. besteht durchgehend aus "bunter" NF (Vgl.Kap.3.6.).Ihre Untergrenze fällt mit derjenigen der Bunten Serie s.l. zusammen.Die Obergrenze ist durch den erstmaligen Einsatz von "Scheidegg"-Nagelfluhen definiert. Während vom Rigi Kulm bis zum Dossen die Bunte Serie s.str. bis in die höchst Serien reicht, sinkt ihre Obergrenze von hier nach E stark ab und liegt an der Scheidegg auf Niv:2250m (Vgl.Kap.3.6.).

Von der Radiolarit-reichen Serie im Liegenden unterscheidet sich die Bunte Serie s.str. sedimentpetrographisch vor allem durch den höheren Zirkon-Gehalt (70 gegenüber 47%), dem niedrigeren Spinell-Gehalt (15 gegenüber 35%), sowie dem höheren Feldspat-Gehalt (6 gegenüber 0,5%)(Vgl.Tab.3).

Obwohl in der Geröllltracht nicht wesentlich verschieden, heben sich die höchsten Bereiche (Niv:2500m bis Niv:2800m) der Bunten Serie s.str. durch den niedrigeren Spinell-Gehalt (1 gegenüber 16%), dem höheren Rutil-Gehalt (14 gegenüber 7%), sowie dem niedrigeren Dolomit-Gehalt (4 gegenüber 25%) von den tieferen Partien ab (Vgl.Tab.3)

b) Scheidegg-Serie

Die Scheidegg-Serie zeichnet sich durch eine Wechsellagerung von Nagelfluhen des Typus "Scheidegg" mit Bunter NF aus.

Von der Bunten Serie s.str. unterscheidet sie sich sedimentpetrographisch vor allem durch den niedrigeren Spinell-Gehalt (7 gegenüber 15%) und den niedrigeren Dolomit-Gehalt (4 gegenüber 22%).Betrachtet man lediglich die Kristallin-freien Partien der Scheidegg-Serie, so tritt dieser Unterschied noch stärker in Erscheinung:

Spinell	(1 gegenüber 15%)
Dolomit	(3 " 22%)
Rutil	(15 " 8%)
Quarz	(79 " 57%)
Feldspat	(1 " 6%)

Aufgrund des Feldspat-Einsatzes kann die ganze USM-Abfolge der Rigi-Hauptschuppe zweigeteilt werden in die Feldspat-freie bis -arme <u>Untere Rigi-Abfolge</u> und in die Feldspat-führende <u>Obere Rigi-Abfolge</u>.Der Einsatz des Feldspats liegt im schüttungszentraleren, S-Teil der Rigi-Hauptschuppe im untersten Abschnitt der Bunten Serie s.l., in der Uebergangszone II auf Niv:1800m und sinkt gegen N ca.50m unterhalb die Grenze Radiolarit-reiche Serie/Bunte Serie s.l., auf Niv:1550m (Vgl.Kap.4.2.3. und Fig.7).

Fig.7 <u>Lithostratigraphische Gliederung der Rigi-Hauptschuppe</u>.

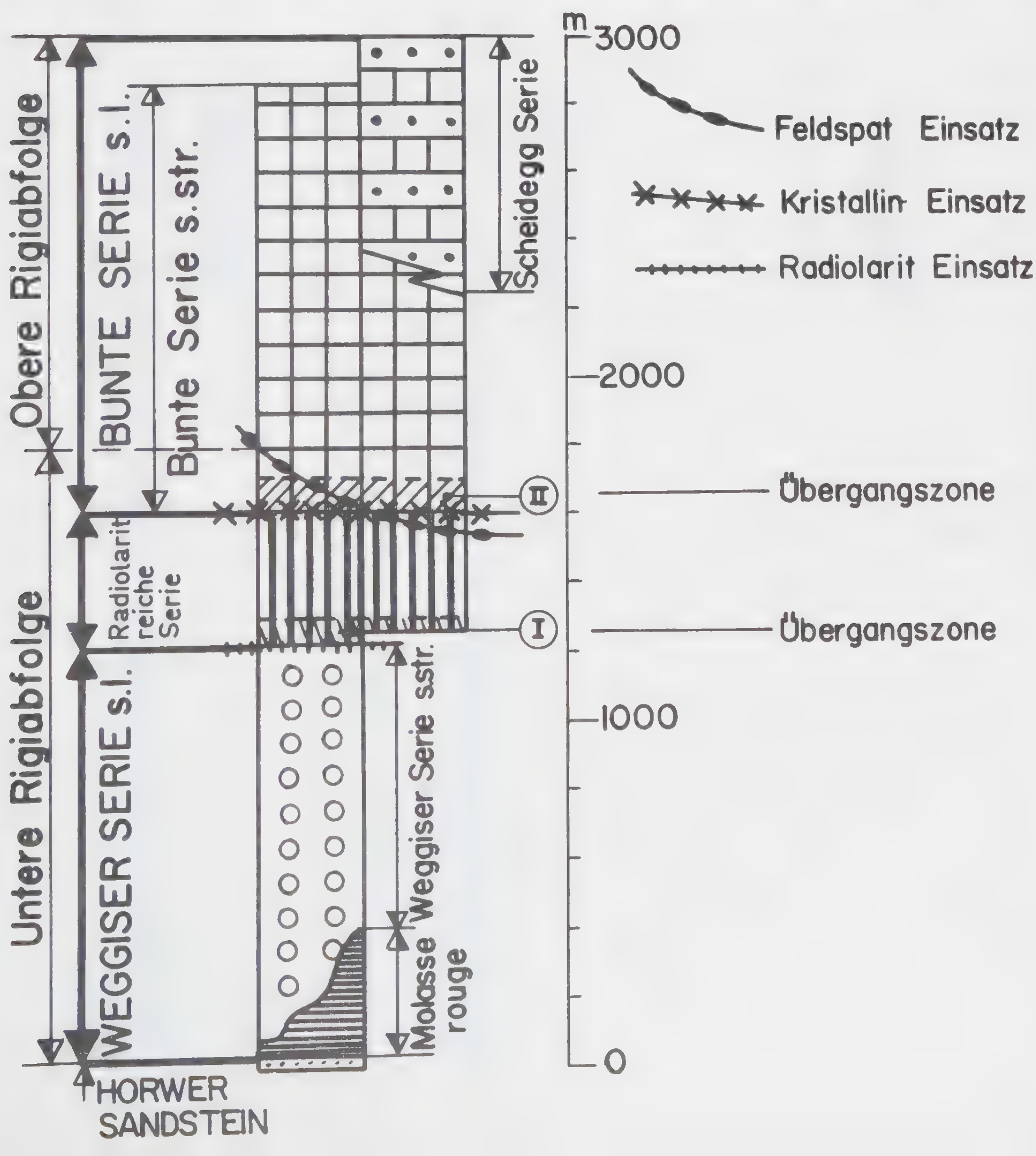
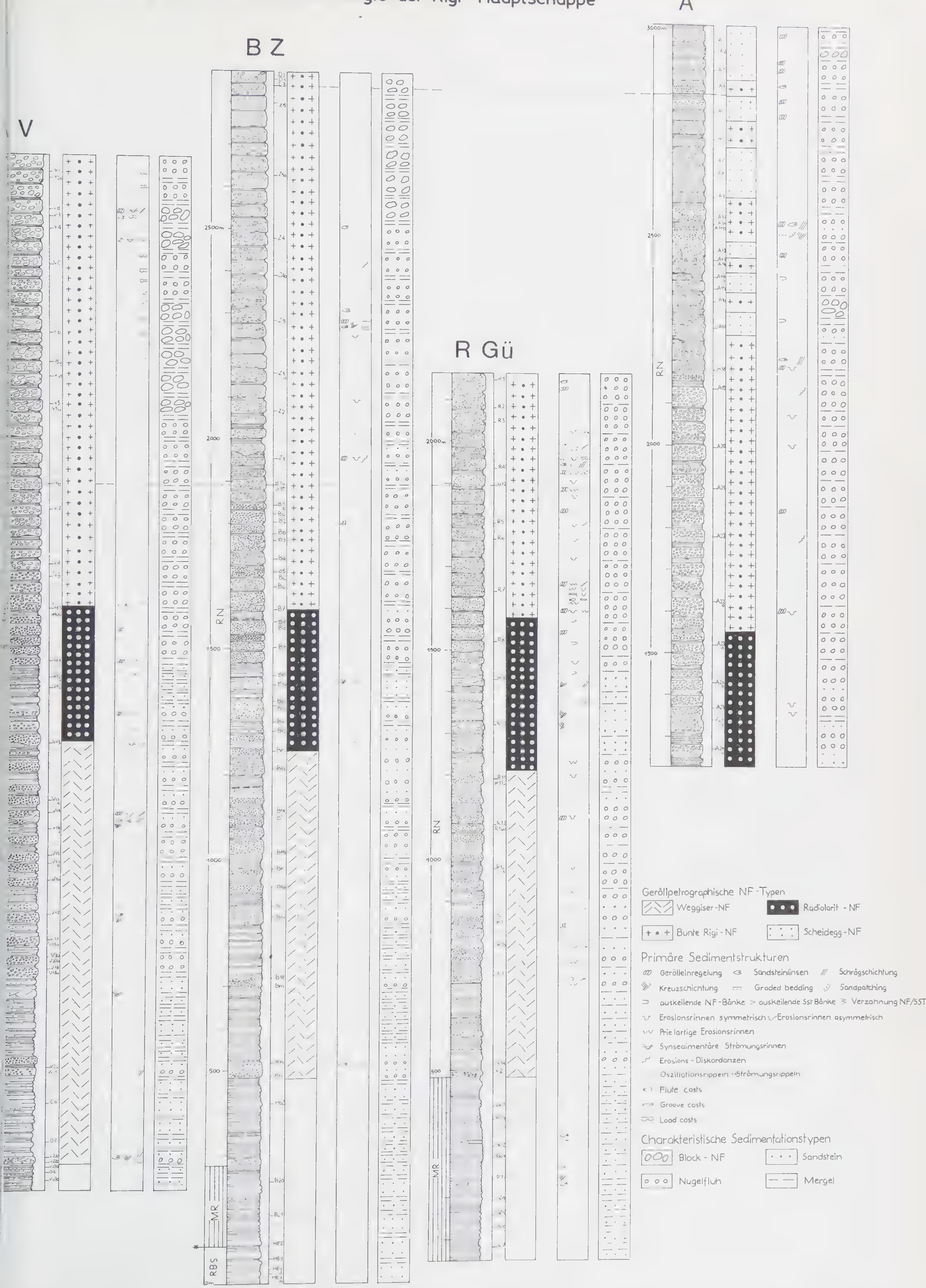


Fig. 14 Lithostratigraphie und Zusammenfassung:
Geröllpetrographie und Sedimentologie der Rigi - Hauptschuppe



6. S T R A T O N O M I E

6.1. ALLGEMEINES

Die lithostratigraphischen Profile (Fig.14) zeigen von der Basis der Rigi-Hauptschuppe gegen die Obere Bunte Serie s.l. eine sukzessive Zunahme der Nagelfluhen. In der Unteren Radiolarit-reichen Serie schaltet sich eine NF-arme, ausgesprochen Sandstein-reiche Zone ein. Diese umfasst den Profilabschnitt Niv:1250m bis Niv:1450m und lässt sich durch den ganzen zentralen Rigi-Schuttfächer s.str. verfolgen (Vgl.Fig.14). Von Niv:1450m bis ins Dach der Rigi-Hauptschuppe werden NF-Einschaltungen wieder zunehmend häufiger. Durchziehende Sandsteinbänke fehlen in diesem Abschnitt.

Um detailliertere Informationen zum Ablagerungsstil und -mechanismus zu erhalten, wurden in einigen gut aufgeschlossenen Sequenzen der Rigi-Hauptschuppe stratonomische Profile aufgenommen (Vgl.Fig.8 und Tab.5). Die Darstellung erfolgte in Anlehnung an GASSER (1968:252) und MUELLER (1971:106). Für die Rigi-Abfolge wurde eine lokale Standardserie (Série virtuelle locale von Lombard 1963) aufgestellt. Diese umfasst folgende Einheiten:

N_1 = Nagelfluh grossgeröllig (Mit Geröllen 25cm Durchmesser)

N_2 = Nagelfluh kleingeröllig (Mit Geröllen 25cm Durchmesser)

S_1 = Sandstein

S_2 = Silt

M = Mergel

W_1 = Wechsellagerung Sandstein/Mergel

W_2 = Wechsellagerung Silt/Mergel

Mit "Wechsellagerung" werden Profilabschnitte erfasst, die aus einer Wechselfolge von Sandstein, Silt und Mergeln im cm-Bereich bestehen.Zur Veranschaulichung des Ablagerungs stils wurde aus der Standardserie die lithologische Kurve abgeleitet.(Vgl.Fig.8, Vertikalkolonnen)

6.2. MAECHTIGKEITSANTEIL PRO LITHOFAZIES

Die Ergebnisse sind aus Tab.5 ersichtlich .

Tab.5 Beispiele von stratonomischen Parametern der Rigi-Hauptschuppe

Profil	Serie	(NF:St:Me)	NF(%)	Sst(%)	Me(%)
VI	Scheidegg-S.	(1:—:1)	52	——	48
V	Obere Bunte S. s.str.	(6:—:1)	86	——	14
IV	Uebergang Radio-larit-reiche S/ Bunte S.s.str.	(59:1:40)	59	1	40
III	Mittl.Weggiser S. s.str.	(5:2:4)	45	19	36
II	Unt.Weggiser S. s.str.	(2:10:17)	7	34	59
II	Molasse Rouge	(—:1:1)	——	48	52
I	Unt.Weggiser S. s.str.	(1:11:8)	5	54	41
I	Molasse Rouge	(—:1:5)	——	16	84

Der NF-Anteil steigt von der Unteren Weggiser Serie s.str. bis zur Oberen Bunten Serie s.str. von 6% auf 86% an; gleichzeitig sinkt der Sandstein-Anteil von 42% auf 0%.Besonders deutlich tritt die Sandsteinarmut in der Scheidegg-Serie in Erscheinung, die neben grobgerölligen Nagelfluhen (52%)

einen beachtlichen Mergelanteil (48%) aufweist.Die spärliche Sandfraktion tritt hier lediglich als NF-Bindemittel und als Sandstein-Linsen in Erscheinung.Mit der allgemeinen Kornvergröberung gegen das Hangende wäre mit der Zunahme der Konglomerate auch ein Anstieg des Sandsteinanteils auf Kosten der Mergel zu erwarten.Eie Entwicklung des Sandstein/Mergel-Verhältnisses wird im Rigi-Schuttfächer offenbar weniger durch Transportdistanz und Fliessgeschwindigkeit als durch die primäre Versorgung mit pelitischem Material bestimmt.

6.3. SEDIMENTATIONS-RHYTHMEN

Der oszillierende Verlauf der lithologischen Kurve zeigt die zyklische Gliederung der Rigi-Abfolge.Ein vollständiger, symmetrischer Zyklus umfasst die Einheiten NF/Sst/Me/Sst/NF. Die Zyklen der Rigi-Abfolge sind, von wenigen Ausnahmen abgesehen, asymmetrisch, d.h.sie setzen mit einer NF-Bank ein und enden mit einem Mergelhorizont, dem die darüber folgenden NF-Bank in der Regel mit mehr oder weniger deutlicher Erosions-Diskordanz auflagert.Es muss mit bedeutenden Schichtlücken gerechnet werden. Vollständig ausgebildete asymmetrische Zyklen sind auf die Untere Rigi-Abfolge beschränkt. In der Oberen Rigi-Abfolge umfassen sie lediglich die Einheiten NF und Me. Die Asymmetrie spiegelt eine periodisch sich wiederholende, sprunghafte Zunahme der Fliessgeschwindigkeiten wider.Die Ablagerung erfolgte nur bei abnehmender Fliessgeschwindigkeit.

Die Zyklenfrequenz (Anzahl Zyklen bezogen auf die Mächtigkeit des betrachteten Profilabschnittes) nimmt generell vom Liegenden gegen das Hangende der Rigi-Hauptschuppe ab. In der Unteren Weggiser Serie s.l. ist Sandstein- resp. Silt/Mergel-Wechsellagerung im cm- bis dm-Bereich weit verbreitet. An einigen Stellen konnten

Fig.8 Stratonomische Profile aus der Rigi-Hauptschuppe

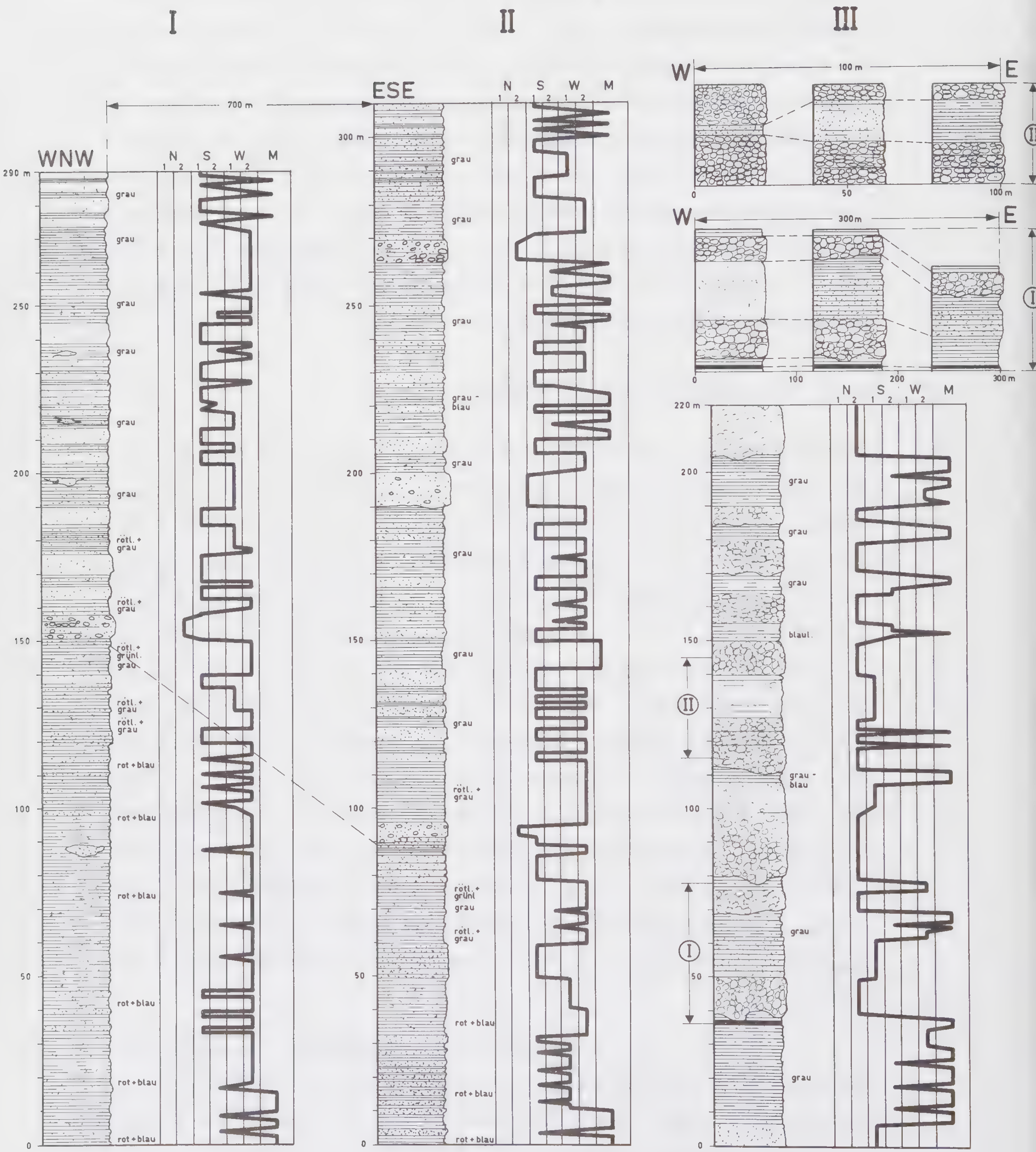
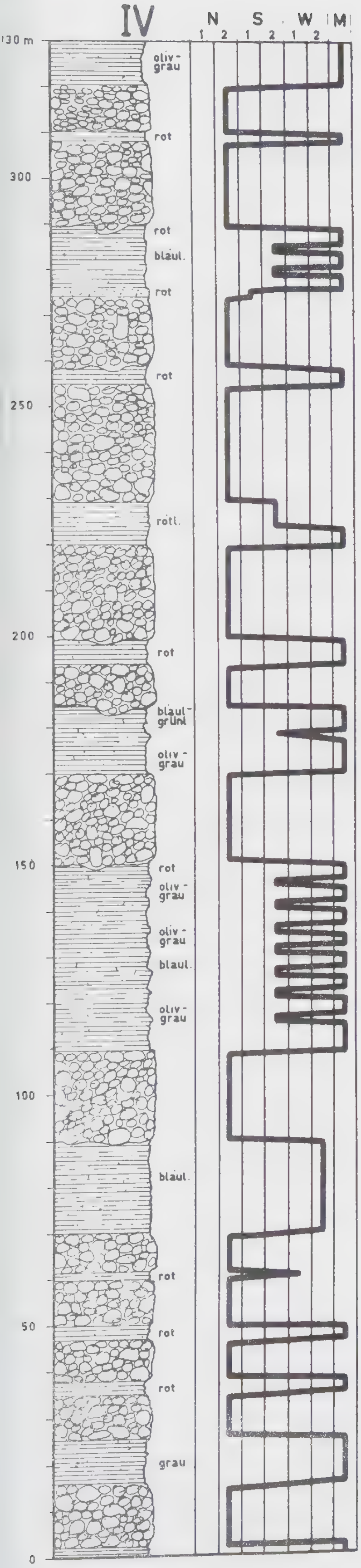
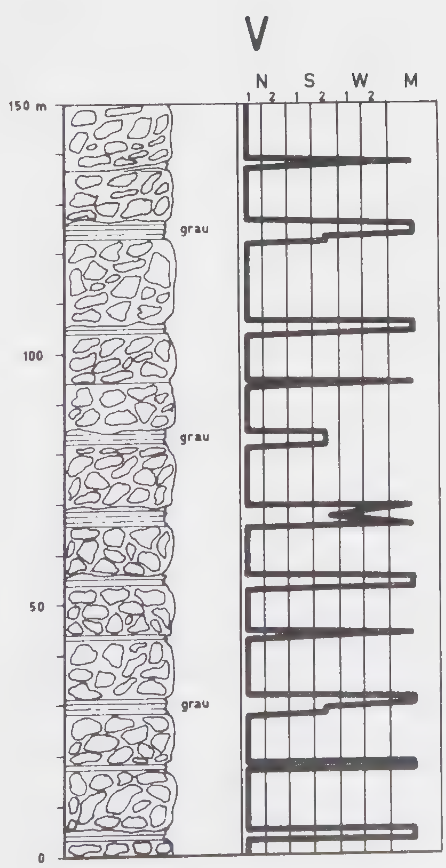
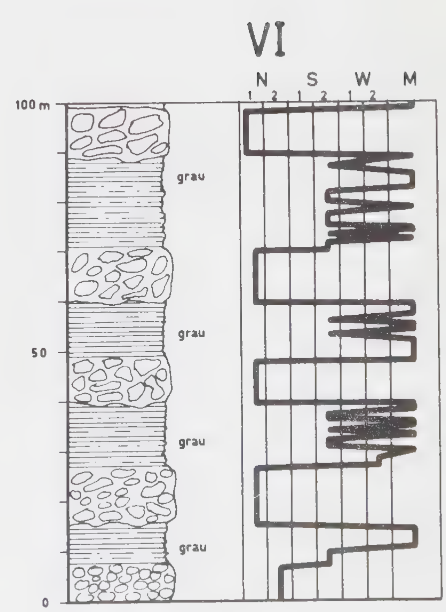


Fig.8 Forts.


IV
N S W M
1 2 1 2 1 2
330 m
300
250
200
150
100
50
0
oliv-grau
rot
rot
bläul.
rot
rot
rötl.
rot
bläul-grün
oliv-grau
rot
oliv-grau
oliv-grau
bläul.
oliv-grau
bläul.
rot
rot
rot
grau


V
N S W M
1 2 1 2 1 2
150 m
100
50
0
grau
grau
grau


VI
N S W M
1 2 1 2 1 2
100 m
50
0
grau
grau
grau
grau

gar warwenartige Feinlaminite festgestellt werden, die nach W.W.RUBEY (1930:44) auf lakustrisches Ablagerungsmilieu mit stark variierendem Eh-Potential und ph-Wert schliessen lassen.Auch Altwasserläufe müssen in Betracht gezogen werden. Die inkompetenten Zwischenlagen der Oberen Rigiabfolge verfügen dagegen nur über eine schwache Rhythmik.

Horizontale Uebergänge in der Zyklenfrequenz liefern Indizien für den Kanalisierungsgrad des Transportmediums. Sie scheinen in der Mittleren Weggiser Serie s.l. der Rigi-NE-Flanke besonders häufig zu sein. In Fig.8, Profil III sind zwei solcher Uebergänge dargestellt. In beiden Profilausschnitten ist eine Zunahme des Silt- und Mergelanteils, verbunden mit einer Intensivierung der Rhythmik von W nach E erkennbar.Die Strömungsachse dieser Sequenz dürfte somit W der Profillinien zu suchen sein. Verschieden liegen die Verhältnisse in der Oberen Bunten Serie s.l..Das horizontbeständige Durchhalten ihrer NF-Bänke und Mergellagen weist auf einen niedrigen Kanalisierungsgrad und möglicherweise auf Schichtflut-artige Ueberschwemmungsphasen.

7. G R A N U L O M E T R I E

7.1. ALLGEMEINES

In einer grundlegenden Arbeit über die Methodik der Granulometrie weist A.MATTER (1964:366) auf die enormen Schwierigkeiten hin, die sich bei der Interpretation der Resultate ergeben. In Anlehnung an MATTER wurden die längsten Achsen der Gerölle gemessen und nach der Wentworth'schen Korngrössenklassifikation ausgezählt. Da es sich am Rigi um relativ grobgeröllige Nagelfluhen handelt, schien es angebracht folgende Klassen zu verwenden:

32 - 64 mm
64 - 128 mm
128 - 256 mm
> 256 mm

Für die Rekonstruktion von extremen Transportverhältnissen sind die grössten Gerölle einer NF-Bank von besonderer Bedeutung (Vgl.U.GASSER 1958:262ff). Sie erlauben Rückschlüsse auf die relative Nähe des Schüttungszentrums (Vgl. J.SPECK 1953:8 und J.M.WESSEL 1969:65). Zu diesem Zwech wurden die NF-Bänke entlang den Profillinien V, B/Z, Gü/R, und A auf extrem grosse NF-Gerölle abgesucht.Die Ergebnisse sind in den Kolonnen Fig.9 festgehalten.

7.2. VERTIKALE VERAENDERUNG DES GEROELLGROESSENSPEKTRUMS

Die Nagelfluhen der Rigi-Hauptschuppe werden gegen das Hangende zunehmend gröber. Charakteristisch für die Untere Weggiser Serie s.str. sind Geröll-führende Sandstein-Bänke und äusserst psammitreiche, kleingeröllige Nagelfluhen, in denen sich die einzelnen Gerölle nicht berühren.Im mitt-

leren Teil der Rigi-Abfolge treten gut sortierte, relativ gut gerundete, mittelgeröllige Nagelfluhen auf mit hoher Packungsdichte der psephitischen Komponenten. Lösungseindrücke an Kalkgeröllen sind jedoch selten. In der Scheidegg-Serie und besonders ausgeprägt am Dossen in der Oberen Bunten Serie s.str. erscheinen sehr grobblockige, schlecht gerundete, vollkommen unsortierte Nagelfluhen. Komponenten mit über 70 cm Ø sind keine Seltenheit. Die generelle Geröllvergrösserung spiegelt die Zunahme der Fliessgeschwindigkeiten gegen das Ende der Rigi-Schüttung wider.

7.3. HORIZONTALE VERAENDERUNG DES GEROELLGROESSENSPEKTRUMS

Horizontale Aenderungen im Geröllgrössenspektrum treten am deutlichsten im Abschnitt Niv:1800m bis Niv:2200m (Mittlere Bunte Serie s.str.) in Erscheinung. Hier ist von Profil V über B/Z nach Gü/R eine Verfeinerung des Geröllbestandes zu erkennen. Dies bestätigt die im Kap.4.2.3. aufgrund der Spinell-Zunahme vermutete generelle Schüttungsrichtung von S nach N.

7.4. EXTREME GEROELLGROESSEN

Gerölle über 25cm Ø sind unterhalb von Niv:1500m (Mittlere Radiolarit-reiche Serie) äusserst selten anzutreffen. Ueber diesem Niveau gehören sie zum Bestand der meisten NF-Bänke. In der Oberen Bunten Serie s.str. erreichen die grössten Gerölle Durchmesser von über 1m.

Noch deutlicher als im Geröllgrössenspektrum ist die horizontale Verfeinerung von S nach N beim Vergleich der grössten Gerölle ersichtlich. Der mittlere Ø der grössten Gerölle nimmt im Abschnitt

Niv:1800m bis Niv:1200m von Profil V nach Profil Gü/R von 57cm auf 28cm ab.

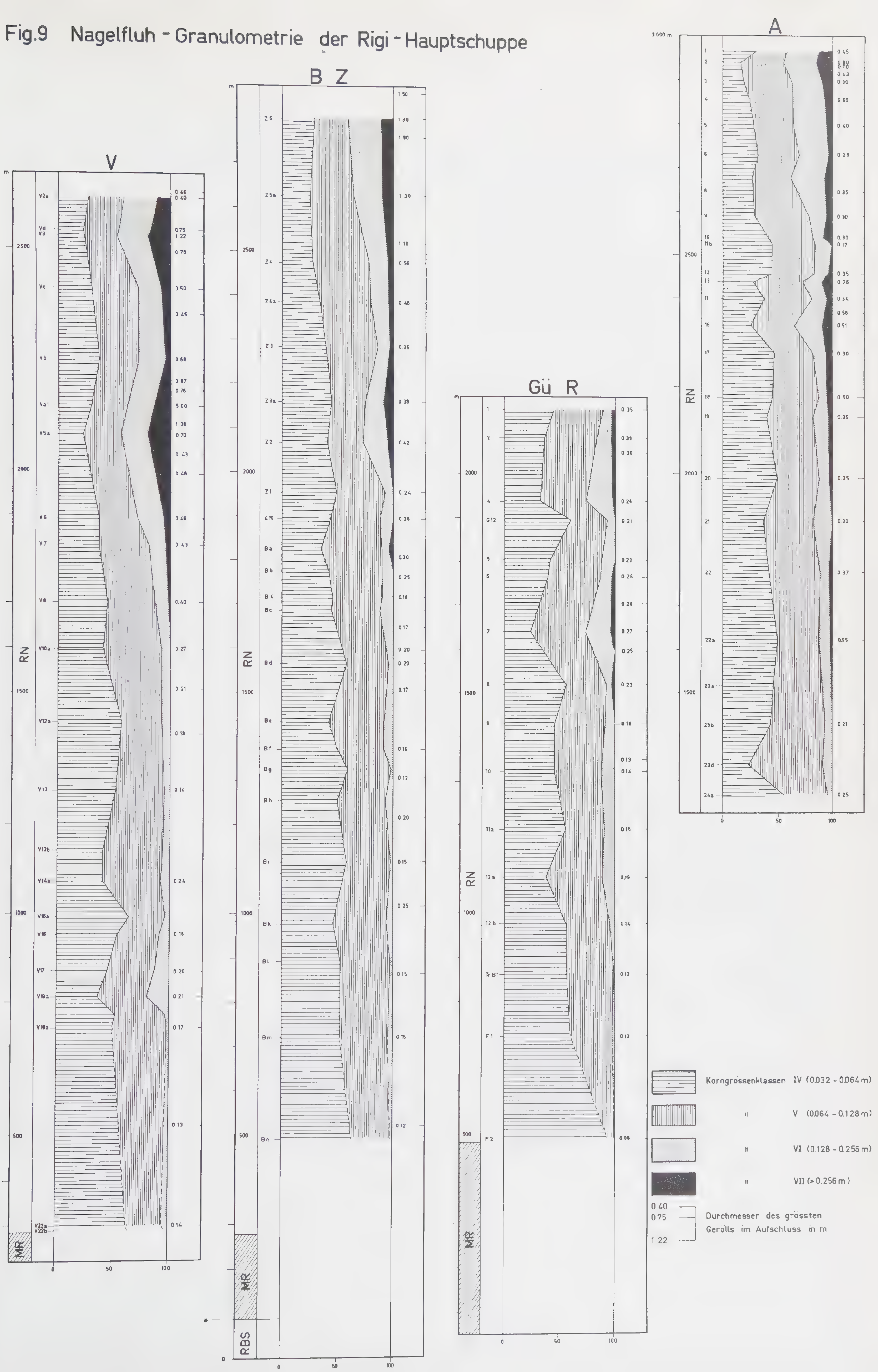
Die grössten Gerölle sind meist Flysch-Kalksandsteine. Vereinzelt treten auch Radiolarite, Oelquarzite oder Kalke als grösste Gerölle auf. Dies trifft meist dann zu, wenn eine NF-Bank sehr reich an diesen Geröllarten ist.

Das grösste bisher beobachtete Geröll erreicht 5m Ø (Vgl.SPECK 1953:8ff). Der Fundort befindet sich 0,5km ENE Vitznau (Koord. 679,875/207,250) in der Oberen Bunten Serie s.str. Im Gegensatz zu den anderen besteht dieses Riesengeröll aus einer Dolomitbrekzie mit vereinzelten roten Radiolarit-Trümmern und ist auffallend gut gerundet. SPECK (1953:9) sieht in ihm ein Gegenstück zu den Felsblöcken rezenter Wildbäche, die durch vorbeigefrachteten Schutt bis zur Hochwassergrenze glattgescheuert worden sind. Nach R.HANTKE ist der Block höchst wahrscheinlich gar kein Geröll, sondern ein Phacoid aus dem Wildflysch, das schon zur Zeit der Flyschbildung seine Rundung erhalten hat und in der Rigi-Schüttung durch Murgang an den jetzigen Ort gelangt ist. Zwei Indizien bekräftigen diese Vermutung:

a) Dolomitbrekziengerölle sind in der Oberen Bunten Serie s.str. äusserst selten.
b) Im Wildflysch der Rosenhöhe E Euthal finden sich hausgrosse, gut gerundete Dolomitbrekzien-Phacoide.

Blockerölle von über 1m Ø beschränken sich auf die SW-Ecke der Rigi-Hauptschuppe, auf das Gebiet zwischen Vitznauerstock und Dossen. Das Schüttungszentrum dürfte demnach in diesem Bereich selbst oder S davon zu suchen sein.

Fig.9 Nagelfluh - Granulometrie der Rigi - Hauptschuppe



8. S E D I M E N T S T R U K T U R E N

8.1. ALLGEMEINES

Das relativ spärliche Auftreten von Sedimentstrukturen im zentralen Bereich des Rigi-Schuttfächers erlaubte keine statistische Auswertung. Trotzdem gelang es über Schüttungsrichtung und Ablagerungsbedingungen einige Anhaltspunkte zu gewinnen.

Die Strömungsachsen und -Richtungen sind in Fig.10 dargestellt. Die Signaturen neben den Achsen bezeichnen die Sedimentstrukturen, die ihrer Konstruktion zugrunde lagen. Es wurden 2 Gruppen von Strömungsachsen unterschieden:

a) Strömungsachsen 1.Ordnung:
Dabei handelt es sich um übergeordnete Abflusskanäle, die meist als relativ grosse Erosionsrinnen ausgebildet sind.

b) Strömungsachsen 2.Ordnung:
Dies sind sekundäre Fliessrichtungen inner- und ausserhalb der Achsen 1.Ordnung. Sind sie mit diesen vergesellschaftet, verlaufen sie meist schief dazu. Ihre Genese ist mannigfaltig: Wasserwalzen, zentrifugale Querströmung im Bereich von Mäander, randliches Ueberfliessen eines Hauptkanals während einer Hochwasserphase.

Unter den Indikatoren, die im Untersuchungsgebiet zur Rekonstruktion von Strömungsachsen zur Verfügung standen, spielten Erosionsrinnen die wichtigste Rolle. In Kombination mit anderen Sedimentstrukturen, vor allem Geröllеinregelung und Schrägschichtung in Sandsteinen, konnte an mehreren Stellen zur Achsenlage noch die Fliessrichtung ermittelt werden.

Fig.10 Schüttungsrichtungen im zentralen Rigi-Schuttfächer.

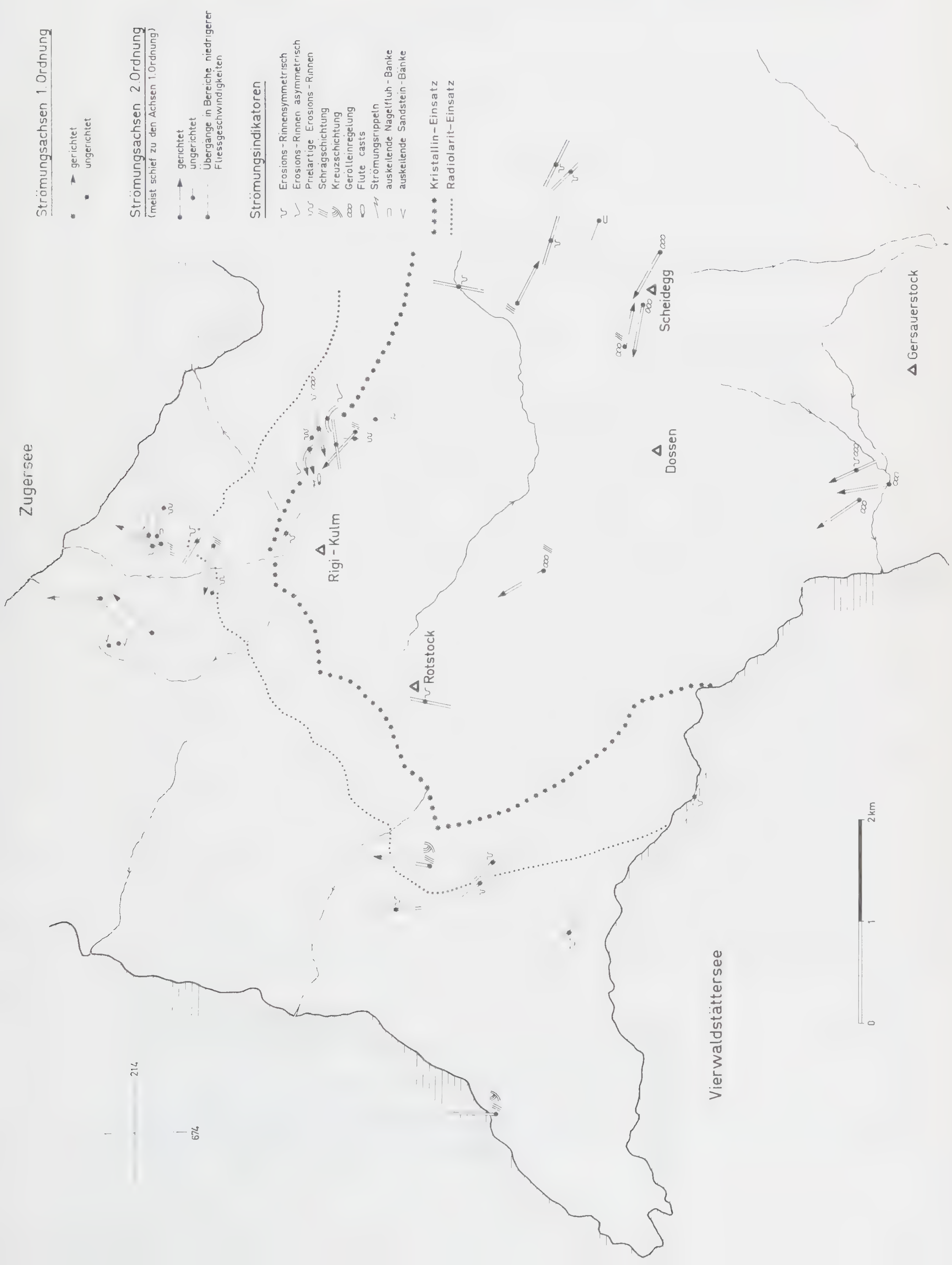


Fig.14 zeigt die vertikale Verbreitung der wichtigsten Sedimentstrukturen.

8.2. ZUR SCHUETTUNGSRICHTUNG

Die auf sedimentpetrographischem und granulometrischem Wege gewonnenen Indizien für die generelle Schüttungsrichtung von S nach N mit Hauptachse W von Rigi Kulm (Vgl.Kap.4.2.3. und Kap.7.3.), konnten durch Sedimentstruktur Untersuchungen bestätigt werden:

An der Rigi-SW-Flanke bleibt die Schüttungsrichtung SE → NW von der Weggiser Serie s.l. bis in die Obere Bunte Serie s.l. auffallend konstant. Zwischen Greppen und Rotstock ist von der Rigi-Basis bis in die höchsten Schichten ein allgemeines Umdrehen in die Richtung SSW → NNE erkennbar.

Im Gegensatz dazu weisen die Sedimentstrukturen an der Rigi-NE Flanke auf eine häufige Aenderung der Strömungsrichtung sowohl vertikal, als auch horizontal. Im unteren Teil der Weggiser Serie s.l. scheint ein SSW → NNE gerichteter Transport vorgeherrscht zu haben. Von der Oberen Weggiser Serie s.l. bis in die Obere Bunte Serie s.str. dominiert wie an der Rigi-SW-Flanke die SE → NW-Richtung. In der Scheidegg-Serie sind 2 entgegengesetzt gerichtete Systeme von Strömungsachsen zu erkennen: Eines weist auf einen Transport von WNW nach ESE, das andere von ESE nach WNW. Dieser Befund stützt die These von der Interferenz zweier eigenständiger Schüttungen in der Scheidegg-Serie (Vgl.Kap.5.7.)

<u>Zusammenfassung</u>:

1. Die generelle Schüttungsrichtung verläuft im zentralen Bereich des Rigi-Schuttfächers von SE nach NW.
2. Beckenaxiales Umdrehen des SE → NW Transportes nach SSW → NNE ist an der NW-Peripherie der Rigi-Hauptschuppe

erkennbar.

3. Strömungsindikatoren an der Rigi-NE Flanke weisen auf eine eher schwache Ausstrahlung der Rigi-Schüttung nach ENE.
4. An der Scheidegg interferieren 2 entgegengesetzte Schüttungsrichtungen.

8.3. ZUM SCHUETTUNGSMECHANISMUS

8.3.1. Zum Ablagerungsmilieu

Gerölleinregelungen

Die maximale Projektionsebene der eingeregelten Gerölle fällt entgegen der Transportrichtung ein. Da am Aufschluss nur selten das ganze Geröll sichtbar ist, gelang eine seriöse Einmessung nur an einigen besonders geeigneten Stellen.

Ausser in extrem grobblockigen Nagelfluhen der Oberen Bunten Serie s.l. konnten Gerölleinregelungen im ganzen Rigi-Schuttfächer beobachtet werden. Am deutlichsten tritt sie bei den plattigen Flysch-Kalksandsteinen in Erscheinung. Nach E.BLISSENBACH (1954: 189) und J.M.WESSEL (1969:60) ist Einregelung bei fluviatilen Ablagerungen besonders ausgeprägt.

Sandpatches

Sandpatches sind Sandsteinlinsen mit ausgesprochener Horizontal- und Vertikalgradierung. Solche konnten in einigen NF-Bänken der Oberen Rigi-Abfolge beobachtet werden. Es dürfte sich dabei um lokale Sandablagerungen eines abschwellenden Hochwassers hinter einer Geröllbarrière, um Sandfahnen handeln.

Erosionsrinnen

Es handelt sich dabei in der Regel um diskordant in die

liegenden Mergel übergreifende Ausbuchtungen von NF-Unterflächen. An einigen Stellen durchschneiden die Rinnen gar eine ganze Mergel/Sandstein-Sequenz und greifen in die nächst tiefer liegende NF-Bank hinunter. Derartige Erosionsrinnen sind auf fluvio-terrestrische Ablagerungen beschränkt.

Erosionsrinnen sind in der ganzen Rigi-Hauptschuppe verbreitet. Eine Spezialität der Rigi-NE-Flanke sind Rinnen mit ausgesprochen asymmetrischem Querschnitt. Ein Paradebeispiel ist in der Risleten (Koord. 680,575/212,350) aufgeschlossen. Die eine Rinnenseite erscheint als steiler Prallhang, die Gegenseite als flacher Gleithang.Die ausgeprägte Horizontalgradierung der Rinnenfüllung weist auf abnehmende Fliessgeschwindigkeiten gegen den Gleithang. Im mittleren Teil des Gleithanges ist eine Gruppe von schönen Flute casts ausgebildet, die eine Fliessrichtung schief zur Rinnenachse anzeigen. An der Sandsteinunterfläche des oberen Gleithangbereichs sind symmetrische Oszillationsrippeln zu erkennen. Sie deuten auf einen Gewässerrand mit Wellenschlag. Es besteht kein Zweifel, dass diese ganze Sedimentstruktur-Vergesellschaftung auf die Tätigkeit eines mäandrierenden Flusses zurückzuführen ist.

Kalklinsen

An der Rigi-NE-Flanke konnte zwischen Scheidegg und Goldau (Koord. 683,350/209,850) in der Mittleren Bunten Serie s.l. eine Kalklinse mit einer Mächtigkeit von ca.5m über eine Horizontaldistanz von ca.80m verfolgt werden. Es handelt sich um einen dunkelgrauen, quarzreichen Süsswasserkalk. Die Linse grenzt sowohl im Liegenden, als auch im Hangenden unvermittelt an mittel- bis grobgeröllige NF. Ihre Anwesenheit zeugt von einem tümpelartigen Stillwasserbereich innerhalb des Schuttfächers.

8.3.2. Zur Ablagerungsgeschwindigkeit

Load casts

Load casts, wulstige Ausbuchtungen von NF-Unterflächen, zeigen im Gegensatz zu den Erosionsrinnen einen konkordanten NF/Mergel-Kontakt. P.E.POTTER & F.J.PETTIJOHN (1964:146) führen ihre Entstehung auf ungleichmässige, rasche Auflast auf eine Wasser-haltige, plastische Unterlage zurück. Voraussetzung wäre demnach eine relativ grosse Sedimentationsgeschwindigkeit. Damit keine Austrocknung und Verfestigung der Mergellagen erfolgen konnte müssten sich Ueberschwemmungsphasen relativ rasch wiederholt haben.

Aufgearbeitete Mergelgerölle

Dass Umlagerungen von abgelagertem Molassematerial stattfand, wird durch die zahlreichen Erosionsrinnen dokumentiert. Trotzdem konnten nirgends Gerölle von aufgearbeiteten Mergeln — wie sie sonst in der USM häufig zu beobachten sind — festgestellt werden. Dies weist darauf hin, dass diese bis zu ihrer endgültigen Einbettung nur einen bescheidenen Verfestigungsgrad erreicht hatten.

Trockenrisse

Trochenrisse und "Flakes"-artig abschuppende Mergel als Anzeichen rascher Austrocknung konnten in der ganzen Rigi-Abfolge nirgends beobachtet werden.

Burrows

Die Abwesenheit von Burrows und die ausgesprochene Armut an Pflanzenresten besonders der Oberen Rigi-Abfolge steht in deutlichem Gegensatz zu den Kohlenlinsen in der USM-Abfolge des benachbarten Rossbergs. Dieser Befund spricht für eine höhere Ueberschwemmungs-Frequenz im zentralen Bereich des Rigi-Schuttfächers.Seine Oberfläche muss man sich wohl als vegetationsfeindliche Kieswüste vorstellen.

8.3.3. Paleoslope

Primäre Sedimentstrukturen, die auf ein Abgleiten während oder unmittelbar nach der Einbettung zurück zu führen sind, konnten in den Sandstein- und Mergellagen des Untersuchungsgebietes nirgends beobachtet werden. Aufgrund der zahlreichen Anzeichen relativ rascher Einbettung in Wasser-haltigem, plastischem Zustand (Vgl.Kap.8.3.2.) deutet dies auf eine schwach geneigte Ablagerungsfläche. Dafür sprechen auch die relativ mächtigen Mergelzwischenlagen mit grosser Horizontalerstreckung. Derartige Horizonte sind aus rezenten, steilen Schuttfächern vergleichbarer Korngrössen Zusammensetzung nicht bekannt (Vgl. BLISSENBACH 1954:186 und WESSEL 1969:135).

9. T E K T O N I K

9.1. BISHERIGE UNTERSUCHUNGEN

Auffällige Lagerungsverhältnisse am Alpenrandkontakt im Teuffibachtobel NE Gersau hat schon A.ESCHER VON DER LINTH (1847) festgestellt.

F.J.KAUFMANN (1860,1872,1876) hat die geologischen Verhältnisse der Kontaktzone in ausführlicher Weise besprochen und eine Anzahl Profile, sowie eine geologische Spezialkarte des Gebietes veröffentlicht.Er erkannte die Ausbuchtung der helvetischen Serien am Rigi-Südrand.Eine Erklärung glaubte er in der ungleichen Art und Weise des primären Absatzes der NF-Massen erblicken zu können.Doch spricht er schon die Vermutung aus, dass vor der Hebung der Molasse Unebenheiten des Bodens vorhanden gewesen sind.

Eine ähnliche Vorstellung hatte ARN.HEIM (1907).Er stellte die Hypothese auf, es habe sich schon vor dem Heranschub der alpinen Decken ein selbständiges "Nagelfluh-Gebirge" zwischen Alpen und Jura erstreckt, an dessen durch Erosion gegliederten S-Flanke später die alpinen Ueberschiebungs-Decken aufgebrandet seien. Als solche "Erosionslöcher" seien auch die Nischen entlang dem Rigi-S-Rand aufzufassen.Das Nagelfluh-Gebirge habe sich beim Anschub der alpinen Decken vollständig passiv verhalten.

Demgegenüber war A.BUXTORF (1916) der Auffassung, dass die Faltung und Verschuppung der subalpinen Molasse nur eine Begleiterscheinung der Alpenfaltung sei.

Seine Ansichten wurden durch die Untersuchungen E.BAUMBERGERS in der subalpinen Molasse be-

stätigt.

H.H.RENZ (1937) fasste in seiner preisgekrönten Schrift die bisherigen Erkenntnisse zusammen.

A.BUXTORF & J.KOPP (1943) untersuchten die Querbrüche im Raume Weggis/Greppen.

J.KOPP (1971:27ff) postulierte erstmals die Anwesenheit der Grindelegg-Schuppe an der Basis der Rigi-Hauptschuppe.

9.2. DIE RIGI-HAUPTSCHUPPE

9.2.1. Lagerung

Die Schichten der Rigi-Hauptschuppe fallen isoklinal gegen SE bis SSE ein.Das durchschnittliche Fallen nimmt von der Basis an der NW-Flanke gegen die höchsten Horizonte an der Scheidegg kontinuierlich ab:

- Horwer Sandstein 33°
- Untere Weggiser Serie 32°
- Radiolarit-reiche Serie 15°
- Bunte Serie s.str. 13°
- Scheidegg Serie 10°

Das fächerartige Auseinanderlaufen der Schichten gegen den schüttungszentralen Bereich der RHS dürfte auf sukzessive Versteilung der ursprünlichen Ablagerungsfläche, entsprechend der Geröllgrössen-Zunahme gegen das Hangende und/oder auf verstärkte Subsidenz am Alpenrand zurück zu führen sein.

Die einzelnen Horizonte stellen nur in erster Annäherung ebene Flächen dar.In Wirklichkeit sind sie an der NW-Flanke steiler und werden gegen das Zentrum der RHS zunehmend flacher.Gegen den Alpenkontakt im SE biegen sie flexurartig ab:

Beispiel: Horizont Niv:1650m

0,5km NW Rigi Kulm	15 °
1,7km ESE "	11 °
3,75km SE "	20 °

Bemerkenswert ist ferner ein Umbiegen der Streichrichtung von durchschnittlich 39° NE im Raume Weggis/Greppen nach 66° an der Rigi-NE-Flanke.

Das Aufbiegen der mächtigen, relativ starren NF-Pakete im Frontalbereich, sowie das Abbiegen in der Streichrichtung dürfte auf ein kräftiges, unregelmässiges Hindernis unter der Rigi-Hauptaufschiebung zurück zu führen sein. Dass für die Flexur im Bereich des Alpenkontaktes allein die Auflast der relativ geringmächtigen helvetischen Divertikel der Hochfluh und des Gersauerstocks verantwortlich sind, scheint mit R.HANTKE unwahrscheinlich.

9.2.2. Kluftsysteme

Neben zahlreichen in der Streichrichtung stark schwankenden Kluftflächen, die wohl z.T. auf postglaziale Sakkungen zurück zu führen sind, ist ein konsistentes System mit einer durchschnittlichen Lage von(N 236°E/ 83°) erkennbar. Dieses ist an der Vierwaldstättersee-Seite der RHS besonders gut ausgebildet. Rutschharnische auf den Scherflächen zeigen an, dass es sich um Bewegungen mit geringer Vertikalkomponente gehandelt hat. Charakteristisch sind die ausserordentlich glatten Oberflächen der Klüfte. Sie durchschneiden die NF-Gerölle messerscharf. Demnach haben die Nagelfluhen zur Zeit der Entstehung des Kluftsystems schon einen hohen Verkittungsgrad erreicht. Auch A.RISSI (1968:40) hat ähnlich ausgebildete Kluftflächen mit fast identischer Lagerung am Rossberg festgestellt.

9.3. DIE RIGI-BASISSCHUPPE

NNE Greppen sind am Widenbach Sandsteine aufgeschlossen, die sich durch ihre Lagerung von der benachbarten basalen Rigi-Abfolge abheben: Mittlere Lagerung (N 145° E/ 49°) gegenüber (N 135° E/30°). Zudem unterscheiden sie sich eindeutig von der untersten Weggiser Serie s.l.(Vgl.Fig.6 und Tab.3):

- Granat	85	gegenüber	41%
- Zirkon	38	"	62%
- Rutil	6	"	18%
- Staurolith	26	"	—
- Feldspat	13	"	0,5%

Auch zu den im Untersuchungsgebiet anstehenden Horwer Sandsteinen weisen sie beträchtliche Unterschiede auf:

- Granat	85	"	15%
- Zirkon	38	"	78%
- Spinell	25	"	11%
- Staurolith	26	"	1%
- Feldspat	13	"	—
- Chert	16	"	3%
- Dolomit	16	"	6%

KOPP(1971:27ff) betrachtete diese Sandstein-Serie aufgrund ihrer tektonischen Stellung als W Fortsetzung der Grindelegg-Schuppe. Der Vergleich mit den neuesten sedimentpetrographischen Daten von S.SCHLANKE(1973) zeigt,dass sich die Rigi-Basisschuppe mit ihrer G,ZSS'r-Assoziation deutlich von der Grindelegg-Schuppe unterscheidet.

Gestützt auf die analoge tektonische Stellung könnte die RBS auch als E Aequivalent der ssw Luzern bis Schangnau durchverfolgbaren Hornbüel-Schuppenzone angesehen werden. Doch bestehen auch zwischen diesen Einheiten beträchtliche sedimentpetrographische Unterschiede (Vgl.Tab.3 und GASSER,1966:766ff;GASSER,1968:308ff).

9.4. DIE TEUFFIBACH-SCHUPPENZONE

9.4.1. Gliederung

Zwischen Gersauerstock und Hochfluh ist die subalpine Molasse dachziegelartig verschuppt (Vgl.Fig.11 und Fig.12). Dies im Gegensatz zu den übrigen Abschnitten des Alpenkontaktes, wo die NF-Horizonte lediglich steil gegen die Ueberschiebung des Helvetikums abbiegen, so z.B. im Tobel des Altdorf Baches ESE Vitznau. Aufgrund der Lagebeziehung zur Rigi-Hauptschuppe können 2 Schuppen-Systeme unterschieden werden:

a) Externe Schuppenzone

Sie besteht im wesentlichen aus der Schwandenegg-Schuppe (Vgl.Fig.11 und 13) und ist der RHS direkt steil angelagert.

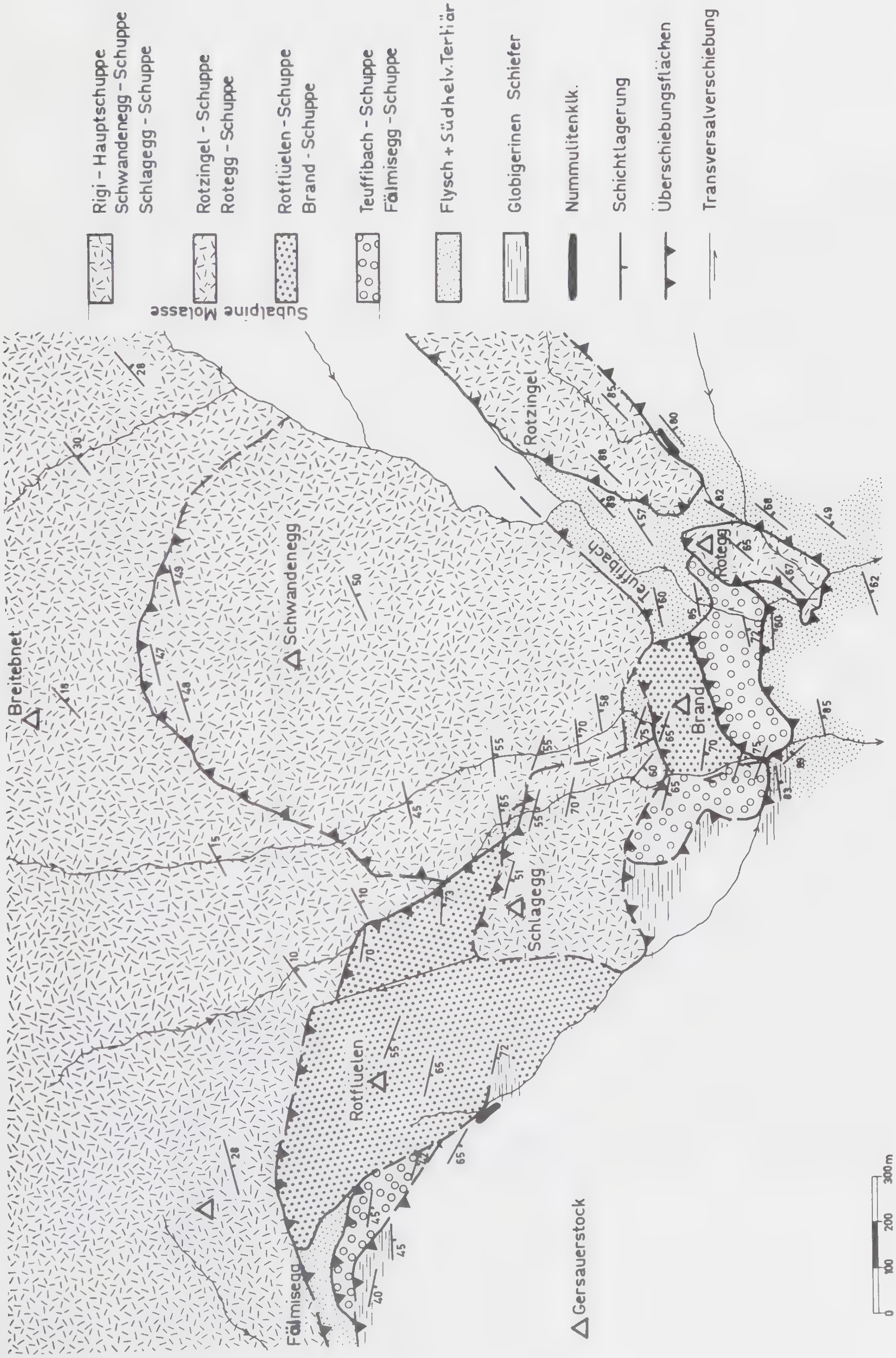
b) Interne Schuppenzone

Diese ist stellenweise durch subalpinen Flysch und südhelvetisches Tertiär von der RHS und der externen Schuppenzone getrennt. Ihr allgemeines Streichen verläuft schief zu demjenigen der internen Zone (Durchschnittliche Lagerung: N 195° E /66° gegenüber N 165° E / 52°).Es gelang das interne System vom Liegenden ins Hangende in folgende Elemente aufzulösen:

- Rotflüelen-Schuppe
- Schlagegg-Schuppe
- Brand/Teuffibach-Schuppe
- Rotegg/Rotzingel-Schuppe

Im Gegensatz zur externen Zone, welche ein relativ starres, in sich wenig gestörtes NF-Paket darstellt, sind hier De-

Fig.11 Detailtektonik der Teuffibach-Schuppenzone



formations Erscheinungen recht häufig, so z.B.:

- Gewellte Differential-Bewegungsflächen in der NF-Matrix
- Deformation von Kalkgeröllen
- Spanartige Verschuppung von NF und dazugehörigen Mergeln
- Calcitisierte Scherflächen in den Molasse-Mergeln

9.4.2. Zuordnungsversuch

Die externe Teuffibach-Schuppenzone (Schwandenegg-Schuppe) zeigt sowohl geröll-, als auch sedimentpetrographisch vollkommene Uebereinstimmung mit den Nagelfluhen des Typus "Scheidegg". Höchst wahrscheinlich handelt es sich um ein alpenwärtig aus dem Verband der Scheidegg-Schüttung abgeschupptes Schichtpaket.

Schwieriger ist die Herleitung der durch Flysch-Spickel von der RHS und der Schwandenegg-Schuppe getrennten Elemente der internen Schuppenzone. Prinzipiell 4 Möglichkeiten stehen dazu offen:

1. Rigi-Schüttung s.str.
2. Scheidegg-Schüttung
3. Interferenzbereich Rigi-Schüttung s.str./Scheidegg-Schüttung (Scheidegg-Serie)
4. Eigenständige Schüttung

Allen tektonischen Einheiten der internen Schuppenzone ist der ausserordentlich niedrige Granat-Gehalt (28,27,27,17%) gemeinsam. Sie unterscheiden sich dadurch von allen lithostratigraphischen Einheiten der Rigi-Hauptschuppe, deren Granat-Werte durchwegs über 40% liegen. Diese Diskrepanz dürfte allerdings zu einem wesentlichen Teil auf Vererzung zurück zu führen sein. Neben dem Zirkon sind vor allem die Granate der internen TSZ von einer ferritischen Haut überzogen. Die Mineralien erscheinen dadurch im Polarisations-Mikroskop als opake Körner und werden in der SM-Zählung nicht erfasst.

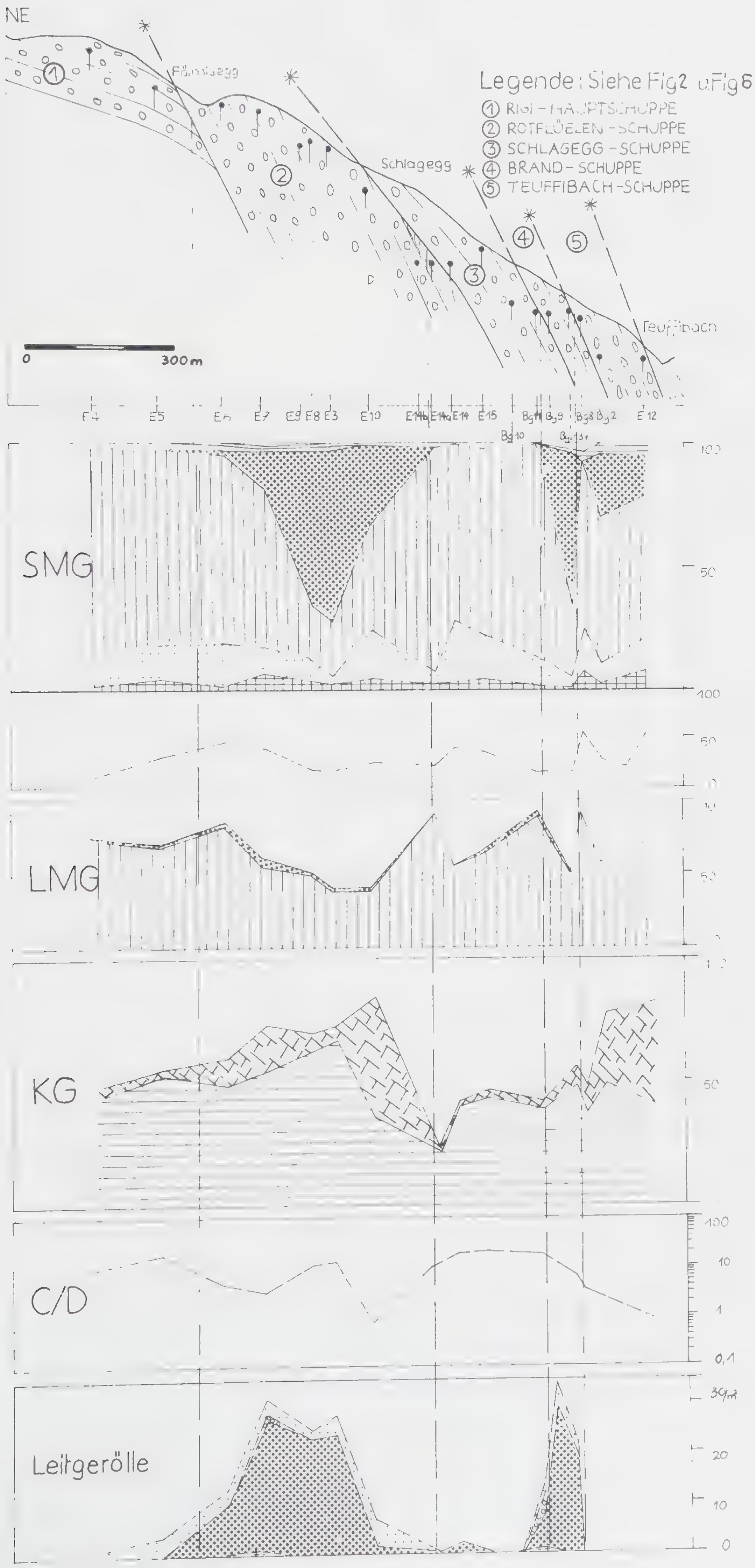
ad 1.):

Die Teuffibach-Schuppe zeigt geröllpetrographisch durch die relativ starke Dolomitgeröll-Führung (15%), die Absenz der Radiolarit/Aptychenkalk-Gruppe, sowie das Fehlen von Kristallin starke Anklänge an die Weggiser NF.Im relativ hohen Anteil von Sandsteinen-Quarziten (27 gegenüber 6%), auf Kosten der dichten Kalke (2 gegenüber 27%), zeichnet sich jedoch ein Unterschied ab (Vgl.Tab.1).Das Fehlen von Sandstein-Abfolgen steht im Gegensatz zur Lithologie der Weggiser Serie s.l.(Vgl.Fig.14) und ist ein Indiz für relativ schüttungszentrale Herkunft.

Die Brand-Schuppe zeichnet sich durch ein hohen Radiolarit- und Spinell-Gehalt aus und weist damit grundsätzliche Aehnlichkeit mit den Nagelfluhen der Radiolarit-reichen Serie auf.Der Spinell-Anteil von durchschnittlich 62% übertrifft alle in der RHS festgestellten Werte (Durchschnitt der Radiolarit-reichen Serie =35%).Auch der Chert-Gehalt (51%) ist für Rigi-Verhältnisse ausserordentlich hoch (Vgl.Tab.3,4 und 6).Das Fehlen von Feldspat würde für eine Abkunft aus der unteren Radiolarit-reichen Serie sprechen.Im Vergleich zu typischen Vertretern der Radiolarit-NF führt die Brand-Schuppe mehr Flysch-Sandkalke bis -Kalksandsteine (22 gegenüber 7%).

Die Rotflüelen-Schuppe weist durch die ausgeprägte Radiolarit- und Spinell-Führung ebenfalls starke Analogien zu den Nagelfluhen der Radiolarit-reichen Serie auf (Vgl.Tab.3 und 6).Der spärliche Feldspat-Gehalt würde für eine Zuordnung zur Oberen Radiolarit-reichen Serie sprechen.Noch stärker als die Brand-Schuppe hebt sie sich jedoch durch den hohen Anteil an Flysch-Sandkalken bis -Kalksandsteinen von den klassischen NF-Vertretern der Radiolarit-reichen Serie ab (56 gegenüber 7%).

Fig.12 Tektonik, Sedimentpetrographie und Leitgeröllführung der Teuffibach-Schuppenzone I.



ad 2.):

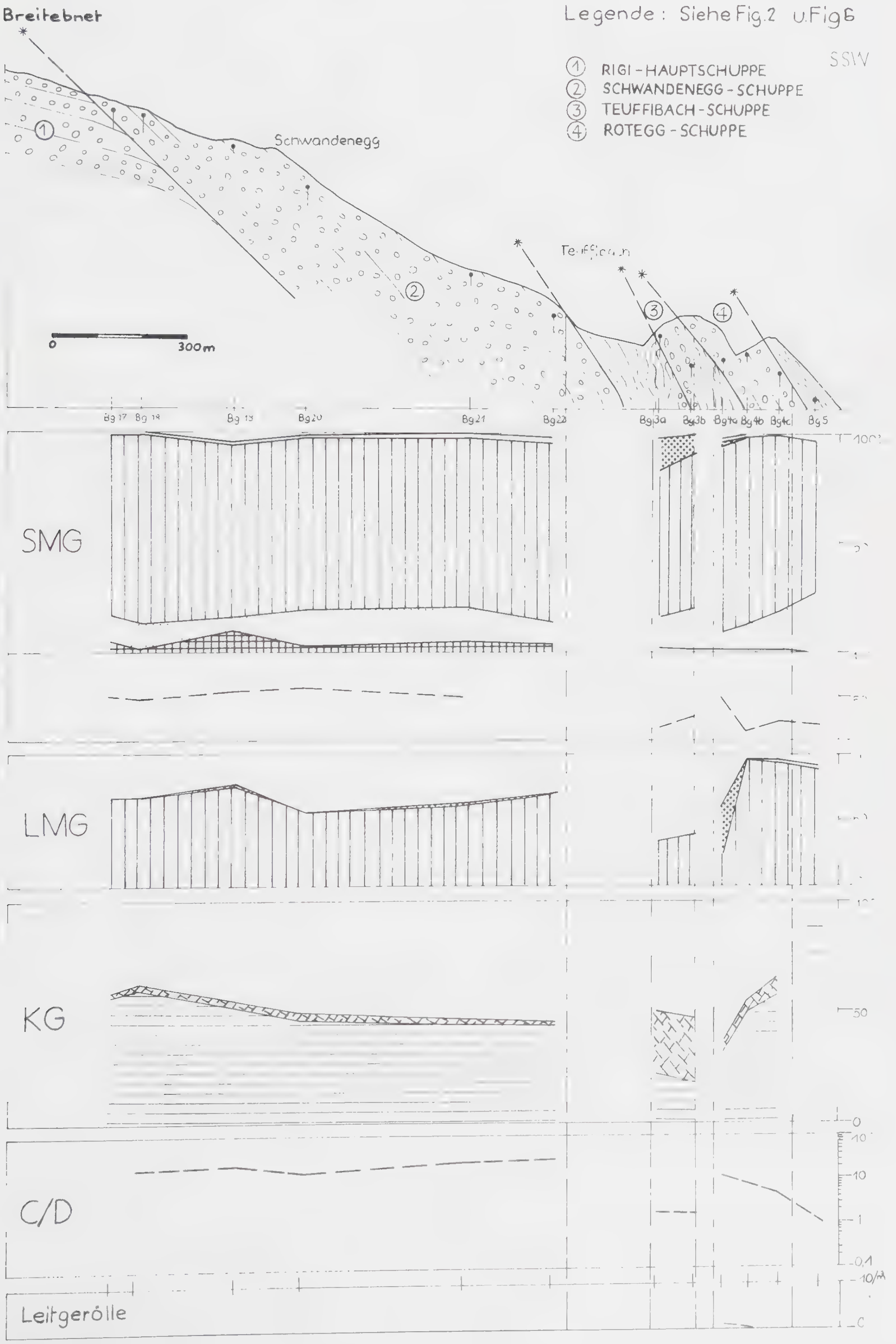
Die Rotegg-Schuppe zeigt starke Anklänge an die Nagelfluhen des Typus "Scheidegg" (Vgl.Tab.1 und Kap.3.5.).Ein schwerwiegender Unterschied liegt jedoch im ausserordentlich hohen Feldspat-Gehalt (11 gegenüber 1%).Dieser hohe Durchschnittswert ist aber hauptsächlich dem für Rigi-Verhältnisse abnormen Feldspat-Gehalt einer Probe (32%) zurück zu führen und dürfte eng begrenzter, lokaler Anreicherung zu zuschreiben sein.

Praktisch vollkommene Uebereinstimmung sowohl geröll-als auch sedimentpetrographisch besteht zwischen den Nagelfluhen der Schlagegg-Schuppe und dem "Scheidegg"-Typus.Lediglich der verschwindend kleine Anteil an Flysch-Mergelkalken (+ gegenüber 19,5%) stellt eine Abweichung dar.

ad 3.):

Die ganze interne TSZ könnte als eine in sich verschuppte Wechselfolge von Nagelfluhen der Rigi-Schüttung s.str. mit Nagelfluhen der Scheidegg-Schüttung aufgefasst werden. Dafür spräche der abrupte Wechsel von Radiolarit-führenden/ Spinell-reichen und Radiolarit-freien/Spinell-armen Sequenzen, der nicht in allen Fällen mit den tektonischen Grenzen zusammenfällt (Vgl.Fig.12 und 13).Im Gegensatz zu den "bunten" Einschaltungen an der Scheidegg sind jedoch die Spinell-reichen Teile der internen TSZ stets Kristallinfrei.Wie in Kap.3.6. festgestellt,setzt die Wechsellagerung vom Dossen nach SE in zunehmend tieferen Horizonten ein. Es ist daher durchaus möglich, dass diese Interferenz in heute nicht mehr vorhandenen, E Bereichen des Schuttfächers schon in der Oberen Weggiser Serie s.l., resp.der Radiolarit-reichen Serie zu spielen begann.Die interne Schuppenzone könnte demnach als südöstliches, schüttungszentraleres

Fig. 13 Tektonik, Sedimentpetrographie und Leitgeröllführung der Teuffibach-Schuppenzone II.



Aequivalent der Scheidegg-Serie betrachtet werden.Für eine zentrale Herkunft sprechen die Grobblockigkeit, die schlechte Rundung sowie das Fehlen von durchziehenden Sandstein-Horizonten.

ad 4.):

Da nach den derzeitigen Kenntnissen keine schwerwiegenden Gründe gegen eine Herkunft der internen TSZ aus dem Schichtverband des Rigi-Schuttfächers s.l. sprechen, kann die These 4.) "Interne TSZ = aufgespiesste Reste eines eigenständigen Schuttfächers" vorderhand fallen gelassen werden.

9.5. ZUR RELIEFUEBERSCHIEBUNG

Die Ueberschiebung des Helvetikums über eine präexistente Erosions-Oberfläche in der Molasse steht am Alpenkontakt des Rigigebiets längst fest.R.HANTKE wird das Problem der Relief-Ueberschiebung im Rahmen einer allgemeinen kinematischen Interpretation ausführlich behandeln.

Tab.6 Sedimentpetrographische Charakteristika der Teuffibach-Schuppenzone
(Durchschnittswerte in %)

		SCHWANDENEGG SCHUPPE	SCHLAGEGG SCHUPPE	ROTEGG SCHUPPE	ROTFLUELEN SCHUPPE	BRAND SCHUPPE	TEUFFIBACH SCHUPPE
	SM-Formel	G,ZRsa	g,ZRs	g,ZR	g,ZS'Rs	g,S'Zra	g,ZRS'st
SMG (%)	Gr	54	28	27	27	17	39
	Zi	81	79	84	44	31	67
	Sp	+	—	1	39	62	11
	Ru	11	18	13	11	5	12
	Ap	2	—	1	1	2	1
	Tu	1	—	1	1	1	4
	St	5	2	1	4	—	5
LMG (%)	Qu	66	72	73	48	49	68
	Fe	+	1	11	2	—	+
	Ch	34	27	16	50	51	31
KG (%)	Ca	54	40	45	53	48	45
	Do	3	2	6	25	8	21
	C/D	18	20	7,5	2,1	6	2,2

10. P A L A E O G E O G R A P H I E

Zu Beginn der fluvio-terrestrischen USM trat die Urreuss S des heutigen Vierwaldstättersees aus den werdenden Alpen. Ihr Einzugsgebiet umfasste den ganzen Alpenabschnitt zwischen "Vierwaldstättersee" und "Sihlsee". Im alpinen Rückland lag das Erosionsniveau anfänglich vorwiegend in ostalpiner Trias und Flyschen der internen Tröge, sowie untergeordnet auch in ultrahelvetisch bis nordpenninischen Flyschkomplexen. Danach griff die Erosion in südpenninische Einheiten hinunter, im Speziellen in die Simmen-Decke s.l. Von der Simmen-Decke s.l. kam zuerst die Radiolarit/Aptychenkalk-Gruppe zum Abtrag, darauf grosse Mengen von Kreideflysch und zuletzt der mit diesem Flysch möglicherweise verbundene Kristallinkern mit den charakteristischen roten Rigi-Graniten.

Gegen Ende der Rigi-Schüttung zerfiel das grosse Einzugsgebiet der Urreuss in zunehmendem Masse in kleinere, eigenständige Entwässerungs-Systeme. Diese lassen sich in zwei Gruppen unterteilen:

a) "Entwässerungs-Systeme mit südpenninischen Einheiten + ultrahelvetischen bis nordpenninischen Flyschen im Einzugsgebiet".

b) "Entwässerungs-Systeme mit nur ultrahelvetischen bis nordpenninischen Flyschen im Einzugsgebiet".

Zur ersten Gruppe gehört die gegen das Ende der Unteren Rigi-Abfolge selbständig gewordene Friherrenberg-Schüttung (H.P. MUELLER,1971). Zur zweiten Gruppe gehören die erst um die Mitte der Oberen Rigi-Abfolge aktiv gewordenen reinen Flysch-Schüttungen mit Zentren SE Scheidegg, SE Spiegelberg und S Sattelegg. Die am Rigi umd im E-Teil des Betrachtungsquerschnitts festgestellte allgemeine Zunahme der

Geröllgössen gegen das Hangende (Vgl.Fig.9 und MUELLER, 1971:105), spiegelt die Verstärkung des alpinen Reliefs gegen Ende der Rigi-Schüttung wieder.Im Vergleich zu anderen Geröllarten sind die ultrahelvetischen bis nordpenninischen Flyschpsammite in der Oberen Rigi-Abfolge überdurchschnittlich gross und schlecht gerundet.Ihre mengenmässige Dominanz ist in den grobblockigen, lokal eng begrenzten, mit den obersten Partien der Rigi-Schüttung randlich interferierenden "Flysch-Schüttungen" besonders stark ausgeprägt.Es ist demnach auch aufgrund der Molasse-Schüttungen anzunehmen, dass sich die ultrahelvetischen bis nordpenninischen Flyscheinheiten auf einen Streifen entlang dem damaligen Alpenrand konzentrierten.Die Anzeichen von chaotischen Ablagerungsbedingungen (Blockgerölle, fehlende Einregelung) in den"Flysch-Schüttungen" deuten zudem an, dass vor allem dieser frontale "Flyschstreifen" von Relief-verstärkenden Bewegungen betroffen wurde.

Im Gegensatz zu Rigi und den "Oestlichen Schüttungen" bleibt die Geröllgrössen-Verteilung in den Entlebucher Schuttfächern von der Basis bis ins Dach mehr oder weniger konstant (Vgl.GASSER,1968:265). Die Hebung des "Flyschstreifens" konzentrierte sich demzufolge offenbar auf den E-Teil des Betrachtungsquerschnitts.

Der geröll- und sedimentpetrographische Vergleich mehr oder weniger gleichaltriger, benachbarter USM-Schüttungen W und E des Rigi-Schuttfächers (Vgl.Kap.3.7. und 4.5.) ergab einige Anhaltspunkte über die Horizontalerstreckung der im Einzugsgebiet der Urreuss festgestellten geologischen Einheiten:

Vom "Entlebuch" bis E des "Sihlsees" zog eine mehr oder weniger schmale Zone aus ultrahelvetischen bis nordpenninischen Flyschen dem Alpenrand entlang.Dolomite dominier-

ten im Wäggital- und Sihlsee-Abschnitt.Im Einzugsgebiet der Urreuss spielten sie eine relativ bescheidene Rolle. Stärker war ihre Präsenz wieder im Rückland der Entlebucher Schüttungen.Die Radiolarit/Aptychenkalk-Gruppe erlangte im Rigi-Abschnitt als Geröll-Lieferant ihre grösste Bedeutung.Dasselbe gilt für die internen Flysche, im Speziellen den Mocausa-Konglomerat-führenden Kreideflysch der Simmen-Decke.Auch der möglicherweise der Simmen-Decke zuzuordnende Kristallin-Komplex mit den roten Rigi-Graniten als Leitgesteinen, scheint sich auf das Rückland des Rigi-Schuttfächers konzentriert zu haben; zumindest ist er hier in weit stärkerem Masse von der Erosion freigelegt worden, als weiter im W und im E.Die Freilegung des Kristallinkörpers erfolgte im Rigi-Rückland erst am Ende der Unteren Rigi-Abfolge.Weiter W dagegen erscheinen schon an der Basis der fluvio-terrestrischen Serien Kristallinkomponenten in den Nagelfluhen.Der Kristallin-Komplex im Einzugsgebiet der Uraare bestand jedoch im Gegensatz zu demjenigen im Urreuss-Abschnitt vorwiegend aus metamorphen Gesteinen.

11. Z U S A M M E N F A S S U N G

Die Untersuchungen erstreckten sich über den Abschnitt der Subalpinen Molasse zwischen Vierwaldstättersee und Zugersee, den Zentralbereich des Rigi-Schuttfächers. J.SPECK(1953) lieferte erstmals eine detaillierte Pauschalanalyse des Geröllbestandes.Die vorliegende Arbeit bezweckte, darauf aufbauend die vertikale und horizontale Entwicklung des Geröllspektrums zu verfolgen und die bisherige lithostratigraphische Gliederung unter Verwendung sedimentpetrographischer Daten klarer zu fassen und zu ergänzen.

Es gelang im zentralen Rigi-Schuttfächer zwei Schüttungs-Systeme auseinander zu halten:

a) Rigi-Schüttung s.str.
b) Scheidegg-Schüttung

Die Rigi-Schüttung s.str. führt in der 1200m mächtigen Liegend-Serie Kalk-Dolomit-Nagelfluhen vom Typ "Weggis" (Weggiser Serie).

Darüber folgt die 400m mächtige Radiolarit-reiche Serie.Diese Radiolaritgerölle zeigen hohe Cr-Gehalte.Die Spurenelement-Assoziation "Cr-85/Sr-30/Cu-12/Pb-2,8ppm" der Rigi-Radiolarite spricht vorderhand gegen die Herkunft aus der Simmen-Decke s.str.Aufgrund des hohen Cr-Gehalts stammen sie aus einem Ophiolith-reichen, heute möglicherweise verschwundenen Aequivalent.

Mit dem Einsatz der roten Rigi-Granite beginnt die Mocausa-Konglomerat-reiche Bunte Serie mit einer Mächtigkeit von 1400m.

Die Rigi-Schüttung s.str. weist eine "G,ZS'Rta" Schwermineral-Kombination auf.Aeusserst charakteristisch sind die hohen Gehalte an:

- Zirkon (62%)
- Spinell (21%)
- Chert (31%)
- Dolomit (24%)
- Gesamt-Karbonat (66%)

Die Spinell-Führung ist durchgehend, mit einem Maximum in der Radiolarit-reichen Serie (35%).Die unteren 1600m (Untere Rigi-Abfolge) sind Feldspat-arm bis frei (0,3%), die darüber liegenden 1400m (Obere Rigi-Abfolge) Feldspat-führend (5%).Der Dolomit-Gehalt zeigt einen abnehmenden Trend gegen das Hangende.

Die Scheidegg-Schüttung führt Kristallin-freie Nagelfluhen mit über 60% Flysch-Kalksandsteinen.Diese sind aufgrund ihres Schwermineral-Bestandes vorwiegend südhelvetischer bis nordpenninischer Provenienz.Gerölle aus den internen Flyschtrögen und der Simmen-Decke treten im Gegensatz zur Rigi-Schüttung s.str.stark zurück.Dies spiegelt sich im geringeren Spinell-(1 gegenüber 21%) und Dolomit-Gehalt (3 gegenüber 24%) wider.

Die Scheidegg-Serie umfasst an der Scheidegg die obersten 750m.Sie besteht hier aus einer Verzahnung von Rigi-Schüttung s.str., mit Zentrum im SW und der Scheidegg-Schüttung, mit Zentrum im SE.

Am tektonischen Aufbau sind 3 Hauptelemente beteiligt:

1. Rigi-Basisschuppe (RBS)
2. Rigi-Hauptschuppe (RHS)
3. Teuffibach-Schuppenzone (TSZ)

Mit Hilfe von Schwermineral-Analysen gelang es die RBS mit ihrer "G,ZSS'r"-Kombination von der RHS abzutrennen und die TSZ weiter aufzugliedern:
Die durch Flysch-Spickel vom Verband der RHS getrennte "Interne Schuppenzone" stammt mit grösster Wahrschein-

lichkeit aus dem Interferenzbereich "Rigi-Schüttung s.str./ Scheidegg-Schüttung".Die "Externe Schuppenzone" lagert der RHS direkt auf; sie konnte als aufgespiesstes Paket der Scheidegg-Schüttung identifiziert werden.

Der Materialtransport erfolgte im zentralen Rigi-Schuttfächer von SE nach NW, mit Schüttungsachse W Rigi Kulm. Zahlreiche Indizien deuten auf eine eher schwache Ausstrahlung der Rigi-Schüttung s.l. nach E.

Die Geröllgrössen nehmen vom Liegenden ins Hangende mehr oder weniger stetig zu.Gerölle von über 1m Durchmesser treten nur in den obersten 900m auf.Block-Nagelfluhen, ohne jede Einregelung sind auf die SW-Ecke der RHS beschränkt.Das Zentrum der Rigi-Schüttung s.str. lag SSE der Linie Vitznau-Dossen.

Aufgrund der relativ starken Verbreitung von Erosionsrinnen über die ganze RHS, muss fluvio-terrestrisches Ablagerungsmilieu angenommen werden. Charakteristisch sind die ausserordentlich horizontbeständigen Nagelfluh-Bänke und Mergel-Zwischenlagen, sowie das Fehlen von Slump-Strukturen.Die Sedimentstruktur-Vergesellschaftung deutet auf rasch sich wiederholende, äusserst vehemente, Schichtflut-artige Ueberschwemmungsphasen auf schwach geneigter Akkumulations-Oberfläche.

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

ALLEN,J.R.L.(1965): A review of the origin and characteristics of Recent alluvial sediments —— Sedimentology,5.

BALTZER,A.(1893): Zur Herkunft der bernischen bunten Nagelfluh —— Mitt.Naturf.Ges.Bern(1892).

BAUMBERGER,E.(1929): Die Deutung des Rigi- und Rossbergprofils aufgrund neuer Fossilfunde —— Verh.Naturf.Ges.Basel,40.

- (1931): Zur Tektonik und Altersbestimmung am schweizerischen Alpenrand —— Ecl.geol.Helv.,24/2.

BAUMBERGER,E.,& KRAEUSEL,R.(1934): Die Horwerschichten südlich von Luzern —— Abh.Schweiz.paläont.Ges.,55.

BECK,P.(1946): Ueber den Mechanismus der subalpinen Molassetektonik —— Ecl.geol.Helv.,38/2.

BERSIER,A.(1945): Sédimentation molassique:Variations latérales et horizons continue —— Ecl.geol.Helv.38/2.

- (1951): La sédimentation cyclique de type molassique en fonction de la subsidence continue —— Sédimentation et Quaternaire,France,1949.

BIERI,P.(1946): Ueber die Ausbreitung der Simmendecke in den östlichen Préalpes romandes —— Ecl.geol.Helv.,39/1.

BLISSENBACH,E.(1952): Relation of Surface Angle Distribution to Particle Size Distribution on alluvial Fans —— J.Sed.Petrol.,22/1.

- (1954): Geology of alluvial fans in semiarid regions —— Geol.Soc.Bull.,65.

- (1957): Die jungtertiäre Grobschotterschüttung im Osten des bayrischen Molassetroges —— Beih.geol.Jb.,26.

BURCKARDT,C.(1893): Die Kontaktzone von Kreide und Tertiär am Nordrand der Schweizeralpen vom Bodensee bis zum Thunersee —— Beitr.geol.Karte Schweiz,N.F.,2.

BUXTORF,A.(1916): Erläuterungen zur geol.Karte der Rigihochfluhkette —— Geol.Karte Schweiz,9.

BUXTORF,A.,& KOPP,J.(1943): Ueber das Unterstampien der Rigi und über Querbrüche in der Molasse zwischen Vierwaldstättersee und Zugersee —— Ecl.geol.Helv.,36/2.

BUXTORF,A.,KOPP,J.,& BENDEL,L.(1941): Stratigraphie und Tektonik der aufgeschobenen subalpinen Molasse zwischen Horw und Eigental bei Luzern —— Ecl.geol.Helv.,34/1.

CADISCH,J.(1923): Beitrag zur Entstehungsgeschichte der Nagelfluh —— Ecl.geol.Helv.,18/2.

- (1928): Das Werden der Alpen im Spiegel der Vorlandsedimentation —— Geol.Rundsch.,19.

CAILLEUX,A.(1952): Morphoskopische Analyse der Geschiebe und Sandkörner und ihre Bedeutung für die Paläoklimato-

logie —— Geol.Rundsch.,40.

CAMPANA,B.(1942): Observations sur les nappes de la Simme et de la Brèche dans la région de Saanenmöser et leur position réciproque —— Ecl.geol.Helv.,35/1.

- (1949): Sur la faciès et l'age du Flysch des Préalpes médianes —— Ecl.geol.Helv.,42/2.

DAVIS,W.M.(1938): Sheetfloods and Steamfloods —— Geol.Soc. Am.Bull.,49.

DOEGLAS,D.J.(1962): The structure of sedimentary deposits of braided rivers —— Sedimentology,1.

ESCHER-HESS,C.(1907): Ueber einige Vorkommnisse der oligozänen und miozänen Molasse und Nagelfluh der östlichen Schweiz —— Zürich (Orell Füssli)

ESCHER VON DER LINTH,ARN.(1847): Bemerkungen über das Molassegebilde der östlichen Schweiz —— Mitt.Naturf.Ges. Zürich,1/7.

FISCHLI,H.(1916): Beitrag zur Kenntnis der fossilen Radiolarien in der Riginagelfluh —— Mitt.Naturw.Ges.Winterthur,11.

FROEHLICHER,H.(1933): Geologische Beschreibung der Gegend von Escholzmatt im Entlebuch (LU) —— Beitr.geol.Karte Schweiz,N.F.,67.

FRUEH,J.J.(1888): Beiträge zur Kenntnis der Nagelfluh der Schweiz —— Neue Denkschr.allg.schweiz.Ges.Naturw.,30/1.

FUECHTBAUER,H.(1954): Transport und Sedimentation der westlichen Alpenvorlandmolasse —— Heidelb.Beitr.Min.Petr.,4.

- (1955): Die Sedimentation der westlichen Alpenvorlandmolasse —— Z.dtsch.geol.Ges.,105.

- (1964): Sedimentpetrographische Untersuchungen in der älteren Molasse nördlich der Alpen —— Ecl.geol.Helv., 57/1.

GASSER,U.(1966): Sedimentpetrographische Untersuchungen in der äusseren Zone der subalpinen Molasse des Entlebuchs (LU) —— Ecl.geol.Helv.,59/2.

- (1967): Erste Resultate über die Verteilung von Schwermineralien in den verschiedenen Flyschkomplexen der Schweiz —— Geol.Rundsch.,56/1.

- (1968): Die innere Zone der subalpinen Molasse des Entlebuchs (LU): Geologie und Sedimentologie —— Ecl.geol. Helv.,61/1.

GRUNAU,H.(1946): Die Vergesellschaftung von Radiolariten und Ophiolithen in den Schweizer Alpen —— Ecl.geol.Helv., 39/2.

- (1947): Geologie von Arosa mit besonderer Berücksichtigung des Radiolaritproblems —— Diss.Univ.Bern.

GRUNAU,H.,& HUEGI,T.(1957): Spurenelemente einiger schwei-

zerischer Ophiolithe,Radiolarite und Mergel —— Experientia,13/9.

HABICHT,K.(1943): Zur Geologie der subalpinen Molasse zwischen Zugersee und Rheintal —— Ecl.geol.Helv.,36/1.

- (1945): Geologische Untersuchungen im st.gallisch-appenzellischen Molassegebiet —— Beitr.geol.Karte Schweiz,N.F.,83.

- (1945): Neuere Beobachtungen in der subalpinen Molasse zwischen Zugersee und dem st.gallischen Rheintal —— Ecl.geol.Helv.,38/1.

HANTKE,R.et al. (1967a): Geologische Karte des Kantons Zürich und seiner Nachbargebiete —— Vjschr.Naturf.Ges. Zürich,112/2.

HEER,O.(1859): Flora tertiaria Helvetiae —— (Winterthur),3.

- (1865): Die Urwelt der Schweiz —— Zürich(Schulthess)

HEIM,ALB.(1919,1922): Geologie der Schweiz 1,2 —— Leipzig (Tauchnitz)

HEIM,ARN.(1907): Die Brandung der Alpen am Nagelfluhgebirge —— Ecl.geol.Helv.,9/3(1906)

- (1907): Zur Frage der exotischen Blöcke im Flysch, mit einigen Bemerkungen über die subalpine Nagelfluh —— Ecl.geol.Helv.,9/3.

- (1928b): Ueber Bau und Alter des Alpennordrandes —— Ecl.geol.Helv.,21/1.

- (1932): Zum Problem des Alpen-Molasse-Kontaktes —— Ecl.geol.Helv.,25/2.

HOFMANN,F.(1957a): Untersuchungen in der subalpinen und mittelländischen Molasse der Ostschweiz —— Ecl.geol.Helv., 50/2.

- (1960): Materialherkunft,Transport und Sedimentation im schweizerischen Molassebecken —— Jb.st.gall.Naturw.Ges., 76.

HOLLIGER ,A.(1955): Geologische Untersuchungen der subalpinen Molasse und des Alpenrandes in der Gegend von Flühli (Entlebuch,Kt.Luzern) —— Ecl.geol.Helv.,48/1.

HUBERT,J.F.(1957): Sedimentology of Prealpine Flysch Sequences, Switzerland —— J.Sed.Petrol.,37/3.

KAUFMANN,F.J.(1860): Untersuchungen über die mittel- und ostschweizerische subalpine Molasse —— Neue Denkschr. allg.schweiz.Ges.Naturw.,17.

- (1872): Rigi und Molassegebiet der Mittelschweiz —— Beitr.geol.Karte Schweiz,11.

- (1877): Geologische Beschreibung der Kalkstein und Schiefergebirge der Kantone Schwyz und Zug —— Beitr. geol.Karte Schweiz,N.F.,14.

KLEIBER,K.(1937): Geologische Untersuchungen im Gebiet der Hohen Rone —— Ecl.geol.Helv.,30/2.

KOPP,J.(1934): Einige Resultate der geologischen Neuaufnahmen der Umgebung von Luzern —— Ecl.geol.Helv.,27/2.

- (1937): Demonstration einer geologischen Karte der Südseite der Rigi —— Ecl.geol.Helv.,30/2.

KOPP,J.,& MARTIN,G.P.R.(1938): Die Hauptaufschiebung der subalpinen Molasse zwischen Zugersee und Aegerisee —— Ecl.geol.Helv.,31/2.

KRUMBEIN,W.C.(1939): Preferred orientation of pebbles in sedimentary deposits —— J.Geol.,47.

- (1941): Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles —— J.Sed.Petrol., 11.

VAN DER LINDEN,W.J.M.(1963): Sedimentary structures and facies interpretation of some Molasse deposits —— Eindhoven (de Wereld).

LEUPOLD,W.,TANNER,H.,& SPECK,J.(1943): Neue Geröllstudien in der Molasse —— Ecl.geol.Helv.,35/2.

LOMBARD,A.(1963): Stratonomie des séries du Flysch —— Ecl. geol.Helv.,56/2.

LUDWIG,W.(1910): Flussgeröll,Molasseproblem und Alpenfaltung —— Ann.C.A.S.,45.

LUGEON,M,& GAGNEBIN,E.(1941): Observations et vues nouvelles sur la géologie des Préalpes romandes —— Mém.Soc.vaud. Sci.natur.,47/1.

MATTER,H.B.(1962): Sedimentologische Untersuchungen im östlichen Napfgebiet —— Ecl.geol.Helv.,57/2.

MILNER,H.B.(1962): Sedimentary petrography —— 3d ed.London (Murby).

MC KEE,W.J.(1897): Sheetflood erosion —— Geol.Soc.Am.Bull.,8.

MOHLER,H.(1967): Stratigraphische Untersuchungen in den Giswiler Klippen "Préalpes médianes" —— Beitr.geol. Karte Schweiz,N.F.,129.

VON MOOS,A.(1935): Sedimentpetrographische Untersuchungen an Molassesandsteinen —— Schweiz.min.petr.Mitt.,15/2.

MUELLER,H.P.(1967): Die subalpine Molasse zwischen Alptal und Sattelegg —— Unpubl.Diplomarb.Geol.Inst.ETH.Zürich.

- (1971): Geologische Untersuchungen in der subalpinen Molasse zwischen Einsiedeln und oberem Zürichsee (Kt.Schwyz) —— Vjschr.Naturf.Ges.Zürich,116/1.

OBERHAUSER,R.(1968): Beiträge zur Kenntnis der Tektonik und der Paläogeographie während der Oberkreide und dem Paläogen im Ostalpenraum —— Jb.Geol.B.A.,111.

OCHSNER,A.(1935): Ueber die subalpine Molasse zwischen Wäggital und Speer —— Ecl.geol.Helv.,28/2.

PETTIJOHN,F.J.(1957): Sedimentary Rocks —— 2d ed.New York (Harper)

PETTIJOHN,F.J.,& POTTER,P.E.(1964): Atlas and Glossery of Primary Sedimentary Structures —— Berlin (Springer).

POTTER,P.E.,& PETTIJOHN,F.J.(1963): Paleocurrents and Basin Analysis —— Berlin (Springer).

RABOWSKY,F.(1920): Les Préalpes entre le Simmental et le Diemtigtal —— Beitr.geol.Karte Schweiz,N.F.,35.

RAHN,P.H.(1967): Sheetflood,streamfloods and the formation of pediments —— Ass.Am.Geogr.Ann.,57.

RENZ,H.H.(1937b): Die subalpine Molasse zwischen Aare und Rhein —— Ecl.geol.Helv.,30/1.

RICHTER,M.(1940): Die Gliederung der subalpinen Molasse —— Neues Jb.Min.Beil.,83/1.

RISSI,A.(1968): Geologische Untersuchungen in der Unteren Süsswassermolasse des Rossberggebietes —— Unpubl. Diplomarb.Geol.Inst.ETH.Zürich.

ROLLIER,L.(1902): Sur l'age du conglomérat subalpin ou Nagelfluh de la Suisse —— Bull.Soc.géol.France,(4),1.

- (1911): Révision de la Stratigraphie et de la Tectonique de la Molasse au Nord des Alpes —— Neue Denkschr.Schweiz.Naturf.Ges.,46/1.

RUBEY,W.W.(1930): Lithologic studies of fine grained Upper Cretaceous sedimentary rocks of the Black Hills region —— U.S.Geol.Surv.Prof.Pap.,165 A.

RUTSCH,R.(1945): Neue Auffassung über die Entstehung der Molassesedimente —— Ecl.geol.Helv.,38/2.

RUETIMEYER,L.(1877): Der Rigi: Berg,Thal und See —— Basel-Genf-Lyon (Georg's).

SAHU,B.K.(1964): Depositional Mechanisms from the Size Analysis of Clastic Sediments —— J.Sed.Petrol.,34/1.

SAUSSURE DE,H.-B.(1796): Voyages dans les Alpes. Troisième voyage —— 7,Neuchâtel.

SCHLANKE,S.(1969): Geologische Untersuchungen im Gebiet der Hohrone —— Unpubl.Semesterarb.Geol.Inst.ETH.Zürich

- (1973): Geologische Untersuchungen in der Subalpinen Molasse zwischen Biberbrugg (Kt.Schwyz),Hütten(Kt.Zürich) und Aegerisee (Kt.Zug) ——

SCHLEE,J.(1957): Fluvial gravel fabric —— J.Sed.Petrol.,27.

SIMONS,D.B.,RICHARDSON,E.V.,& NORDIN,C.F.(1965): Sedimentary structures generated by flow in alluvial channels —— Soc.Econ.Paleontol.and Mineralog.Spec.Publ.,12.

SPECK,J.(1953): Geröllstudien in der subalpinen Molasse am Zugersee und der Versuch einer paläogeographischen Auswertung —— Diss.Univ.Zürich.

STAUB,R.(1934): Grundzüge und Probleme alpiner Morphologie —— Denkschr.Schweiz.Naturf.Ges.,69/1.

STUDER,B.(1825): Beiträge zu einer Monographie der Molasse —— Bern(Jenni).

STUERM,B.(1969): Die Sedimentations-Entwicklung des Rigi-Schuttfächers —— Unpubl.Diplomarb.Univ.Zürich.

TRUEMPY,R.(1960): Paleotectonic Evolution of the Central and Western Alps —— Bull.geol.Soc.Am.,71.

- (1965): Zur geosynklinalen Vorgeschichte der Schweizer Alpen —— Umsch.,1965/18.

TRUEMPY,R.,& BERSIER,A.(1954): Les éléments des conglomérats oligocènes du Mont-Pèlerin —— Ecl.geol.Helv.,47/1.

TSCHACHTLI,B.S.(1939): Gliederung und Alter der Couches rouges und Flyschmassen in der Klippen- und Simmen-Decke der Préalpes am Jaunpass —— Ecl.geol.Helv.,32/1.

- (1941): Ueber Flysch und Couches rouges in den Decken der östlichen Préalpes romandes (Simmental-Saanen) —— Diss.Univ.Bern.

WENTWORTH,C.K.(1922): A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments —— J.Geol.,30.

WESSEL,J.M.(1968): Sedimentary history of Upper Triasic alluvial fan complexes in north-central Massachusetts —— Dep.Geol.Univ.Massachusetts Contrib.,2.

WOLETZ,G.(1954): Schwermineralanalysen von Gesteinen aus Helvetikum, Flysch und Gosau —— Jb.Verh.Geol.B.A.,3.

- (1963): Charakteristische Abfolgen der Schwermineralgehalte in Kreide- und Alttertiär-Schichten der nördlichen Ostalpen —— Jb.Geol.B.A.,106.

- (1967): Schwermineralvergesellschaftungen aus ostalpinen Sedimentationsbecken der Kreidezeit —— Geol.Rundsch., 56/1.

ZINGG,T.(1935): Beitrag zur Schotteranalyse —— Bull.suisse Min.Pétr.,15/1.

ZOEBELEIN,H.K.(1963): Zur Biostratigraphie der gefalteten Molasse (Chattien/Aquitanien) im Süden des Oberen Zürichsees —— Bull.VSP,29.

K A R T E N V E R Z E I C H N I S

BUXTORF,A.(1913b): Geologische Karte der Pilatus-Bürgenstock-Rigihochfluhkette,Blatt 3: Rigihochfluhkette,1:25 000 —— Geol.Spez.-Karte,29a.

BUXTORF,A.,NIETHAMMER,G.,& TOBLER,A.(1916): Geologische Vierwaldstättersee Karte,1:50 000 —— Geol.Spez.-Karte,66a.

BUXTORF,A.,& KOPP,J.(1944): Die tektonischen Verhältnisse am NW-Fuss der Rigi,1:33 333 —— Ecl.geol.Helv.,36/2 (1943):297.

ESCHER,A,GUTZWILLER,A.,MOESCH,C.,& KAUFMANN,F.J.(1875): Geologische Karte der Schweiz,Bl.9:Schwyz-Glarus-Appenzell-Sargans,1:100 000 —— Schweiz.geol.Komm.

HANTKE,R.et al.(1967): Geologische Karte des Kantons Zürich und seiner Nachbargebiete,Bl.2,1:50 000 —— Vjschr. Naturf.Ges.Zürich,112/2.

KAUFMANN,F.J.(1872a): Karte der Vitznauer und Gersauer Tobel, 1:8 333 —— Beitr.geol.Karte Schweiz,11:Taf.5.

- (1872b): Hochfluhkette,1:12 500 —— Ibid.

KOPP,J.,BENDEL,L.,& BUXTORF,A.(1955): Geologischer Atlas der Schweiz,Bl.28:Luzern,1:25 000 —— Schweiz.Geol.Komm.

OCHSNER,A.(1969): Geologischer Atlas der Schweiz,Bl.53:Linthebene —— Bern(Kümmerly & Frey).

SUTER,H.(1939): Geologische Karte des Kantons Zürich und seiner Nachbargebiete,1:150 000 —— Geologie von Zürich.

Die Koordinatenangaben im Text beziehen sich auf:

Topogr.Landeskarte der Schweiz,Bl.Rigi 1151,1:25 000.

L E B E N S L A U F

Name:	Bruno Gottlieb Stürm
Bürgerort:	Goldach SG
Datum und Geburtsort:	14.4.1945

Vorbildung:	1952 - 1958	Primarschule in Goldach
	1958 - 1960	Sekundarschule in Goldach
	1960 - 1964	Kantonsschule in St.Gallen Zeugnis: Matura Typus C

Hochschulbildung:

1964 - 1969	Studium der Naturwissenschaften mit Hauptfach Geologie an der Pilosophischen Fakultät II der Universität Zürich.
1969	Diplom als Naturwissenschafter mit Hauptfach Geologie.

Verzeichnis der Dozenten, deren Vorlesungen der Verfasser besucht oder an deren Uebungen er teilgenommen hat:

Dr.H.Andresen, Dr.F.Bachmann, Prof.Dr.H.Boesch, Prof.Dr.H.Bolli, Prof.Dr.C.Burri, Prof.Dr.E.dal Vesco, Dr.K.Dünner, Dr.E. Eberhard, Dr.E.Escher, Prof.Dr.G.Furrer, Prof.Dr.A.Gansser, Prof.Dr.F.Gassmann, Dr.G.Gensler, Prof.Dr.H.Gutersohn, Prof. Dr.W.Guyan, Prof.Dr.H.Haefner, Prof.Dr.R.Hantke, Prof.Dr.K. Henking, Dr.F.Hofmann, Prof.Dr.K.Hsu, Dr.K.Hühnermann, Prof. Dr.H.Jäckli, Prof.Dr.E.Kuhn-Schnyder, Prof.Dr.Laves, Prof.Dr. V.Meyer, Prof.Dr.F.Markgraf, Prof.Dr.W.Nigg, Dr.H.U.Nissen, Prof.Dr.H.Rieber, Dr.M.Schuepp, Prof.Dr.P.Signer, Prof.Dr.D. Steiner, Dr.V.Streiff, Prof.Dr.K.Suter, Prof.Dr.R.Trümpy, Prof.Dr.B.L.van der Waerden, Prof.Dr.M.Weibel, Prof.Dr.O. Woodtli.

Leitung der Dissertation: Prof.Dr.R.Hantke